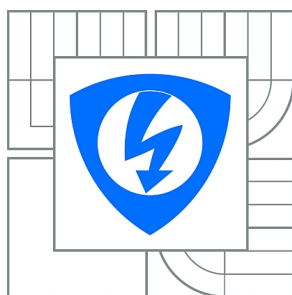




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VÝPOČET NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY PRO VEDENÍ VVN

CALCULATION OF HV LINE DISTANCE RELAY SETTINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL PUSTOWKA

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR TOMAN, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Pavel Pustowka

ID: 133160

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Výpočet nastavení distanční ochrany pro vedení vvn

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Poruchy v elektrických sítích a jejich výpočty
2. Výpočet elektrických poměrů při zkratech v zadané síti
3. Návrh distanční ochrany pro dané vedení

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 30.5.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

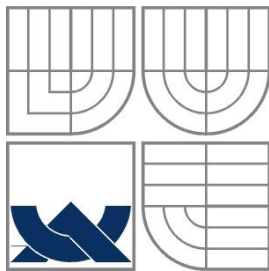
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

PUSTOWKA, P. *Výpočet nastavení distanční ochrany pro vedení vvn*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 76 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Toman, Ph.D..

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

Výpočet nastavení distanční ochrany pro vedení vvn

Pavel Pustowka

vedoucí: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2014

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

Calculation of HV line distance relay setings

by

Pavel Pustowka

Supervisor: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Brno University of Technology, 2014

Brno

ABSTRAKT

Tato práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. První část práce se zabývá poruchovými stavy na vedeních vvn a to zejména zkratů a jejich výpočtem, dále pojednává o distančních ochranách a teorii potřebné k jejich správnému nastavení.

Druhá část práce obsahuje praktický výpočet zkratových poměrů a nastavení distančních ochran na vybrané části sítě 110 kV, patřící společnosti EO.N.

Výsledkem práce jsou hodnoty potřebné pro nastavení všech distančních ochran v zadané části sítě.

KLÍČOVÁ SLOVA: elektrická síť; distanční ochrana; nastavení distanční ochrany; poruchové stavy; zkrat; zkratový proud; zkratová impedance; vedení vvn

ABSTRACT

This work is divided into practical and theoretical part. The first part deals with defective states on hv lines, especially short-circuits and their calculation, further discusses about distance protections and the theory necessary for their correct adjustment.

The second part contains practical calculation of short-circuit conditions and adjustment for distance relay on selected part of 110 kV network, belonging to EO.N company.

The result of the work are values needed for adjustment all distance protection in entered part of the network.

KEY WORDS:

electrical network; distancer elay; adjustment of distance relay; defective states; short-circuit; short-circuit current; short-circuit impedance; hv lines

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	14
1 ÚVOD	16
2 CÍLE PRÁCE	17
3 PORUCHOVÉ STAVY	17
3.1 PŘEPĚTÍ [4].....	17
3.2 ZEMNÍ SPOJENÍ.....	17
3.2.1 SÍŤE IZOLOVANÉ [5]	17
3.2.2 SÍŤE NEÚČINNĚ UZEMNĚNÉ [5]	18
3.2.2.1 Kompenzované sítě	18
3.2.2.2 Sítě uzemněné přes rezistenci.....	18
3.3 NESOUMĚRNOST NAPĚTÍ A PROUDU.....	18
3.4 PODPĚTÍ.....	18
3.5 NADPĚTÍ.....	19
3.6 ASYNCHRONNÍ CHOD	19
3.7 ZMĚNA KMITOČTU	19
3.8 KÝVÁNÍ SYNCHRONNÍCH STROJŮ	19
3.9 ZPĚTNÝ TOK VÝKONU	19
3.10 PŘETÍŽENÍ	19
3.11 ZKRAT.....	19
4 ZKRATY	20
4.1 DĚLENÍ ZKRATŮ [6].....	20
4.2 PRŮBĚH ZKRATOVÉHO PROUDU	21
4.3 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ZKRATOVÉHO PROUDU [6]	22
5 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ	23
5.1 PŘEDPOKLADY VÝPOČTU [7].....	23
5.2 EKVIVALENTNÍ NAPĚŤOVÝ ZDROJ [7]	23
5.3 POUŽITÍ SOUMĚRNÝCH SLOŽEK [7]	24
5.4 ZKRATOVÉ IMPEDANCE ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ	25
5.4.1 SÍŤOVÉ NAPÁJEČE	25
5.4.2 DVOUVINUŤOVÉ TRANSFORMÁTORY [7]	26
5.4.3 TROJVINUŤOVÉ TRANSFORMÁTORY [7].....	27
5.4.4 VENKOVNÍ VEDENÍ A KABELY [7]	28

5.5 VÝPOČET CHARAKTERISTICKÝCH HODNOT ZKRATOVÉHO PROUDU	29
5.5.1 POČÁTEČNÍ RÁZOVÝ ZKRATOVÝ PROUD I_k [7]	29
5.5.1.1 Jednofázový zkrat	29
5.5.1.2 Třífázový zkrat	29
5.5.2 NÁRAZOVÝ ZKRATOVÝ PROUD I_{KM} [7]	29
5.5.2.1 Jednofázový zkrat	29
5.5.2.2 Třífázový zkrat	29
6 DISTANČNÍ OCHRANY	30
6.1 MĚŘÍCÍ ČLEN DISTANČNÍ OCHRANY	31
6.2 KOMPENZACE STEJNOSMĚRNÉ SLOŽKY	33
6.3 KOMPENZACE PŘI ZEMNÍCH ZKRATECH	33
6.4 NASTAVENÍ MĚŘÍCÍCH ČLENŮ	33
6.5 NASTAVENÍ POPUDOVÝCH ČLENŮ	34
6.6 DIGITÁLNÍ DISTANČNÍ OCHRANY	35
6.7 POZITIVA A NEGATIVA DISTANČNÍCH OCHRAN [1]	36
6.7.1 HLAVNÍ POZITIVA DISTANČNÍCH OCHRAN:	36
6.7.2 HLAVNÍ NEGATIVA DISTANČNÍCH OCHRAN:	36
7 VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ V ZADANÉ ČÁSTI SÍTĚ	37
7.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O ZADANÉ SÍTI	37
7.2 VÝPOČET NÁHRADNÍCH IMPEDANCÍ V OBVODU	38
7.2.1 VÝPOČET NÁHRADNÍ IMPEDANCE SÍŤOVÉHO NAPÁJEČE	38
7.2.2 VÝPOČET NÁHRADNÍ IMPEDANCE TRANSFORMÁTORU V ROZVODNĚ MÍROVKA	38
7.2.3 VÝPOČTY NÁHRADNÍCH IMPEDANCÍ JEDNOTLIVÝCH VEDENÍ	39
7.2.3.1 Výpočet náhradní impedance vedení V1310	39
7.2.3.2 Výpočet náhradní impedance vedení V1309	39
7.2.3.3 Výpočet náhradní impedance vedení V1311	39
7.2.3.4 Výpočet náhradní impedance vedení V5536	39
7.2.3.5 Výpočet náhradní impedance vedení V509	40
7.2.3.6 Výpočet náhradní impedance vedení V5511 a V5512	40
7.3 VÝPOČET 3F ZKRATU V ROZVODNĚ ŽĎÁR NAD SÁZAVOU	40
7.4 VÝPOČET 3F ZKRATU V ROZVODNĚ ŠLAPÁNOV	41
7.5 VÝPOČET 3F ZKRATU V ROZVODNĚ ŽĎAS	42
7.6 VÝPOČET 3F ZKRATU V ROZVODNĚ OVD	42
7.7 VÝPOČET 1F ZKRATU V ROZVODNĚ ŽĎÁR NAD SÁZAVOU	43
7.8 VÝPOČET 1F ZKRATU V ROZVODNĚ ŠLAPÁNOV	44
7.9 VÝPOČET 1F ZKRATU V ROZVODNĚ ŽĎAS	45
7.10 VÝPOČET 1F ZKRATU V ROZVODNĚ OVD	46
7.11 SHRUTÍ VÝPOČTENÝCH ZKRATOVÝCH PROUDŮ	47

8 NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN	48
8.1 VÝPOČET NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY	48
8.1.1 VÝPOČET NASTAVENÍ PRVNÍ ZÓNY DISTANČNÍ OCHRANY NA VEDENÍ V1309 V ROZVODNĚ MÍROVKA	49
8.1.1.1 Příklad výpočtu hodnot pro nastavení první zóny distanční ochrany	50
8.1.2 VÝPOČET NASTAVENÍ DRUHÉ ZÓNY DISTANČNÍ OCHRANY NA VEDENÍ V1309 V ROZVODNĚ MÍROVKA	50
8.1.3 VÝPOČET NASTAVENÍ TŘETÍ ZÓNY DISTANČNÍ OCHRANY NA VEDENÍ V1309 V ROZVODNĚ MÍROVKA	51
8.1.4 VÝPOČET NASTAVENÍ ZÓNY OPĚTOVNÉHO ZAPNUTÍ DISTANČNÍ OCHRANY NA VEDENÍ V1309 V ROZVODNĚ MÍROVKA	51
8.1.5 VÝPOČET NASTAVENÍ ZÓNY POPUDU DISTANČNÍ OCHRANY NA VEDENÍ V1309 V ROZVODNĚ MÍROVKA	53
8.1.6 NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY TRANSFORMÁTORU T401 V ROZVODNĚ MÍROVKA	53
8.2 KONTROLA SELEKTIVITY DISTANČNÍCH OCHRAN	54
8.3 PRACOVNÍ POLYGON DISTANČNÍ OCHRANY	57
9 ZÁVĚR	58
POUŽITÁ LITERATURA	59
PŘÍLOHA A VYPOČTENÉ PARAMETRY PRO NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN	60
DISTANČNÍ OCHRANA V ROZVODNĚ MÍROVKA NA VEDENÍ V1309	60
DISTANČNÍ OCHRANA V ROZVODNĚ ŠLAPÁNOV NA VEDENÍ V1311	62
DISTANČNÍ OCHRANA V ROZVODNĚ ŽĎAS NA VEDENÍ V5536	65
DISTANČNÍ OCHRANA V ROZVODNĚ MÍROVKA NA VEDENÍ V1310	67
DISTANČNÍ OCHRANA V ROZVODNĚ ŽĎÁR NAD SÁZAVOU NA VEDENÍ V509	70
DISTANČNÍ OCHRANA V ROZVODNĚ ŽĎÁR NAD SÁZAVOU NA VEDENÍ V1310	72
PŘÍLOHA B PARAMETRY SÍTĚ	75
PŘÍLOHA C PODROBNÁ ČÁST SÍTĚ SPOLEČNOSTI EO.N	76

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 4.1 Dvoufázový a třífázový zkrat.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 4.2 Jednofázový, dvoufázový a třífázový zemní zkrat</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 4.3 Průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu [7]</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 4.4 Průběh zkratového proudu elektricky blízkého zkratu [7].....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 5.1 Netočivá složka zkratové impedance [2]</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 5.2 Sousedná složka zkratové impedance [2]</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 5.3 Zpětná složka zkratové impedance [2]</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 5.4 Náhradní schéma síťového napáječe pro třífázový zkrat</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 5.5 Vlevo trojvinuťový transformátor a vpravo jeho náhradní schéma.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 6.1 Příklad vypínací charakteristiky distančních ochran [1]</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 6.2 Impedanční z kruhovou charakteristikou (a), tzv. „mho“ procházející počátkem ve středové poloze (b), tzv. „offset mho“ což je vysunutá charakteristika „mho“ (c), reaktanční charakteristika (d), přímková charakteristika procházející počátkem (e) [1]</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 6.3 Modelová impedance [1]</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 6.4 Vývojový diagram šesti blokové digitální distanční ochrany</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 6.5 Impedanční charakteristika digitální distanční ochrany [3]</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 7.1 Schéma zadané sítě</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 7.2 Náhradní schéma pro třífázový zkrat v rozvodně Žďár nad Sázavou.....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 7.3 Náhradní schéma pro třífázový zkrat v rozvodně Šlapánov</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 7.4 Náhradní schéma pro třífázový zkrat v rozvodně Žďas</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 7.5 Náhradní schéma pro třífázový zkrat v rozvodně OVD.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 7.6 Náhradní schéma pro jednofázový zkrat v rozvodně Žďár nad Sázavou (z důvodu lepší přehlednosti schématu, nejsou znázorněny vedení jimiž zkratový proud neprotéká)</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 7.7 Náhradní schéma pro jednofázový zkrat v rozvodně Šlapánov (z důvodu lepší přehlednosti schématu, nejsou znázorněny vedení jimiž zkratový proud neprotéká).....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 7.8 Náhradní schéma pro jednofázový zkrat v rozvodně Žďas (z důvodu lepší přehlednosti schématu, nejsou znázorněny vedení jimiž zkratový proud neprotéká).....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 7.9 Náhradní schéma pro jednofázový zkrat v rozvodně OVD (z důvodu lepší přehlednosti schématu, nejsou znázorněny vedení jimiž zkratový proud neprotéká).....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 8.1 Schéma sítě včetně umístění distančních ochran.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 8.2 Vypínací charakteristika distančních ochran na transformátoru Mírovka T401 (strana 110kV směr DS110kV) a na vedeních V1309, V1311, V5536, V1310 pro rezistanci</i>	<i>54</i>

<i>Obrázek 8.3 Vypínací charakteristika distančních ochran na transformátoru Mírovka T401 (strana 110kV směr DS110kV) a na vedeních V1309, V1311, V5536, V1310 pro reaktanci</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 8.4 Vypínací charakteristika distančních ochran na transformátoru Mírovka T401 a na vedení V1310 a V509 pro rezistanci.....</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 8.5 Vypínací charakteristika distančních ochran na transformátoru Mírovka T401 a na vedení V1310 a V509 pro reaktanci</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 8.6 Příklad polygonální charakteristiky distanční ochrany SIPROTEC 7SA511.....</i>	<i>57</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 5.1 Hodnoty napěťového součinitele c [7]</i>	24
<i>Tabulka 6.1 Logika výběru poruchové smyčky pro měřící člen</i>	32
<i>Tabulka 7.1 Shrnutí vypočtených počátečních rázových zkratových proudů</i>	47
<i>Tabulka 8.1 Rozsahy daných měřících transformátorů proudu a napětí</i>	48
<i>Tabulka 8.2 Parametry nastavení první zóny distanční ochrany</i>	49
<i>Tabulka 8.3 Parametry nastavení druhé zóny distanční ochrany</i>	50
<i>Tabulka 8.4 Parametry nastavení třetí zóny distanční ochrany</i>	51
<i>Tabulka 8.5 Parametry nastavení zóny opětovného zapnutí distanční ochrany</i>	52
<i>Tabulka 8.6 Parametry nastavení popudu zapnutí distanční ochrany</i>	53
<i>Tabulka 8.7 Parametry nastavení distanční ochrany transformátoru T401</i>	53

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

\bar{Z}	- příklad značení komplexní veličiny
MTI	- měřicí transformátor napětí
MTU	- měřicí transformátor proudu
Zóna OZ	- zóna opětovného zapnutí distanční ochrany
nn	- nízké napětí
vn	- vysoké napětí
vvn	- velmi vysoké napětí
zvn	- zvláště vysoké napětí
A	- počáteční hodnota ss složky i_{dc}
c	- napěťový součinitel
d	- střední geometrická vzdálenost mezi vodiči nebo středem svazku
I_{k1}	- jednofázový zkratový proud
I_{k2}	- dvoufázový zkratový proud
I_{k20}	- zkratový proud mezi dvěma fázemi a zemí
I_{k3}	- třífázový zkratový proud
I_{kz}	- zemní proud
I_k''	- počáteční rázový zkratový proud
I_{km}	- nárazový zkratový proud
I_k	- ustálený zkratový proud
I_{ke}	- ekvivalentní oteplovací proud
I_{vyp}	- vypínací zkratový proud
i_{dc}	- ss složka vypínacího zkratového proudu
j	- komplexní jednotka
k	- bezpečnostní součinitel
k_c	- koeficient citlivosti
k_2	- koeficient pro přepočítání primárních parametrů distanční ochrany na
K_T	- korekční součinitel transformátoru
t_r	- jmenovitý převod transformátoru
t_k	- doba trvání zkratu
U_n	- jmenovité napětí.

U_m	- maximální dovolené napětí pro zařízení energetických soustav
U_{rT}	- jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí.
u_{kr}	- jmenovité napětí nakrátko v procentech.
S_{rT}	- jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru.
Z_r	- nastavení impedančního popudového členu s oblastí působení vymezenou příslušnou charakteristikou.
Z_{kmax}	- největší hodnota zkratové impedance měřená ochranou při zkratu na konci chráněného úseku vedení. sekundární
x_T	- poměrná reaktance transformátoru.
R_p	- odpor poruchy

1 ÚVOD

Udržení způsobu života dnešního člověka vyžaduje kontinuální dodávku elektrické energie v ideálním případě bez přerušení. Každé přerušení dodávky energie, způsobené například zemním spojením, zkratem nebo přetížením distribuční soustavy, dokáže způsobit značné škody jak na zařízení distribuční sítě, tak škody hospodářské.

Ke snížení škod způsobenými poruchovými stavy na vedení slouží různé typy ochran, které vyhodnocují stav sítě a v případě, že stav vyhodnotí jako poruchový, mají za úkol síť odpojit, aby se předešlo poškození zařízení v části sítě, kde došlo k poruchovému stavu.

Požadavky na tyto ochranné prvky v přenosových sítích stále rostou, díky stále se zvyšujícímu instalovanému výkonu a závislosti průmyslu i domácností na dodávce elektrické energie.

Mezi dlouhodobě nepoužívanější ochrany vedení patří různé typy elektromechanických relé, v poslední době se také spolu s rozvojem polovodičů, rozšiřují takzvané digitální distanční ochrany.

2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této práce je výpočet nastavení distančních ochran na jednotlivých vedeních a transformátorech velkých výkonů ve vybrané části sítě vvn. Dalším cílem je také výpočet zkratových poměrů v dané síti.

3 PORUCHOVÉ STAVY

Tato kapitola se bude stručně věnovat nejčastěji se vyskytujícím poruchovým stavům v elektrizační soustavě vyjma zkratů, jenž budou tvořit náplň další kapitoly.

3.1 Přepětí [4]

V trojfázových střídavých soustavách patří mezi přepětí jakékoli napětí mezi fázemi nebo mezi fázemi a zemí, které svou velikostí překročí amplitudu napětí jmenovitého. Přepětí se dále mohou lišit časovým průběhem, příčinou svého vzniku nebo frekvencí výskytu.

Příslušná norma dělí přepětí podle jejich časového průběhu do následujících skupin:

- **trvalé** - střídavé přepětí síťové frekvence a konstantní efektivní hodnoty.
- **dočasné** - střídavé přepětí síťové frekvence a doby trvání od 30 ms do 1 min.
- **přechodné** - přepětí trvající několik milisekund nebo méně, které má tlumený oscilační nebo impulsní průběh.
- **kombinované** - přepětí vzniklé současným výskytem dvou druhů přepětí.

Dále je možné přepětí dělit podle příčiny jejich vzniku, která může být jak vnitřní (provozní) tak vnější (atmosférická). Například přepětí vzniklé úderem blesku do elektrizační soustavy je typickým příkladem vnějšího přepětí.

3.2 Zemní spojení

Je nejčastěji vyskytující se porucha na venkovních vedeních vysokého napětí a to jak u sítí izolovaných tak u sítí neúčinně uzemněných přes tlumivku nebo přes rezistanci.

3.2.1 Síť izolované [5]

U tohoto typu sítě není uzel vinutí transformátoru na uvažované straně spojen se zemí. V případě spojení jedné s fází se zemí dojde k vzrůstu napětí na uzlu vinutí transformátoru vůči zemi na napětí fázové a napětí ostatních zdravých fází vzroste vůči zemi na napětí sdružené.

Velkou výhodou tohoto typu sítě je skutečnost, že i přes poruchové spojení jedné s fází se zemí lze síť stále provozovat. Je však potřeba počítat s faktem, že při poruchovém stavu je na zdravých větvích sdružené napětí a tomu přizpůsobit izolaci vedení. Další nevýhodou při chodu v poruchovém stavu je přítomnost proudu kapacitního charakteru, který teče místem spojení se zemí a jeho velikost je daná kapacitami zdravých fází celé sítě vůči zemi a činnému odporu obvodu, kterým se proud uzavírá.

Obvykle se však tento odpor zanedbává a uvažuje se proud pouze čistě kapacitní. V případě, že tento proud nepřesahuje 10 A a spojení se zemí není přerušované, nevznikají obvykle velké problémy.

Pokud dojde k druhému zemnímu spojení, jedná se o dvoufázový zkrat a vedení musí být ihned odpojeno. V ČR je tento druh sítě využíván pouze pro vn sítě (od 6 kV až 35 kV).

3.2.2 Sítě neúčinně uzemněné [5]

U těchto sítí jsou nulové body transformátoru uzemněny přes velkou impedanci, navíc se pro omezení velikosti zemního proudu do nulového bodu umísťuje rezistor (sít' uzemněná přes rezistenci) nebo zhašecí tlumivka (kompenzovaná sít').

3.2.2.1 Kompenzované sítě

Pokud je pro uzemnění sítě použita zhašecí tlumivka, musí být regulovatelná, aby se velikost induktivního proudu mohla měnit podle velikosti zemního proudu. Kompenzace ovšem nikdy nemůže být zcela dokonalá a místem spojení vždy teče tzv. zbytkový proud činného charakteru, jeho velikost je však mnohem nižší a vedení je dostatečné dimenzovat pouze na velikost tohoto zbytkového proudu, což je ekonomicky výhodné.

V ČR je využití kompenzovaných sítí dáno velikostí jejich kapacitního proudu. Horní mez kapacitního proudu je rozdílná podle druhu vedení:

- **Venkovní** - 100 A
- **Smišené** - 300 A
- **Kabelová** - 450 A

Při spojení jedné s fází se zemí se kompenzovaná sít' chová prakticky jako sít' izolovaná, ale poruchový kapacitní proud je vlivem kompenzace daleko menší.

3.2.2.2 Sítě uzemněné přes rezistenci

Uzemnění sítě pomocí rezistence se využívá hlavně u kabelových sítí velkého rozsahu, kde poruchové kapacitní proudy často dosahují vysokých hodnot. Výhodou těchto sítí je omezení přepětí, naopak nevýhodou je nutnost vypnutí vedení postiženého zemním spojením.

3.3 Nesouměrnost napětí a proudu

Nesouměrnost napětí a proudu je nebezpečná zejména pro elektrické točivé stroje, protože díky nesouměrnosti v nich vzniká zpětná složka proudu, která může způsobit přehřívání jejich rotorového vinutí.

3.4 Podpětí

Pojmenovává stav, kdy se v soustavě vyskytuje napětí nižší než je napětí jmenovité. Toto snížení napětí způsobuje zvýšení odporu vedení, což může vést až k proudovému přetížení.

3.5 Nadpětí

Pojmenovává stav, kdy se v soustavě vyskytuje napětí vyšší než je napětí jmenovité, což zvyšuje pravděpodobnost vzniku zkratu, protože v síti je přítomno vyšší napětí než pro které je dimenzovaná izolace vedení.

3.6 Asynchronní chod

K tomuto poruchovému stavu dochází při ztrátě synchronního chodu generátorů. Jeho následkem je přetěžování vedení a transformátorů, dále je nebezpečný pro synchronní stroje a turbíny.

3.7 Změna kmitočtu

Tento poruchový stav obvykle způsobuje nedostatek činného výkonu v elektrizační soustavě, popřípadě špatně seřízenou regulaci otáček turbín, pokud jde o nedostatek výkonu je potřeba snížit spotřebu. Snížení případně zvýšení kmitočtu má škodlivý vliv na provoz turbín a spotřebičů.

3.8 Kývání synchronních strojů

Projevuje se jako tzv. fiktivní zkrat, který se chová jako by se pohyboval po spojovacích vedeních mezi synchronními stroji. V případě, že nedochází ke ztrátě stability v elektrizační soustavě, je nežádoucí, aby na něj reagovaly ochrany

3.9 Zpětný tok výkonu

K tomuto poruchovému stavu může dojít při paralelním provozu sítí různých napětí, kdy část výkonu teče sítí s nižším napětím a je zpět vracena do sítě s vyšším napětím, což může vést až k přetížení vedení sítě s nižším napětím.

Tento typ poruchy je velmi nebezpečný pro turbíny, kdy při jejich poškození může generátor pracovat jako asynchronní motor a dále tak protáčet s poškozenou turbínou, čímž může dojít k jejímu dalšímu závažnějšímu poškození.

3.10 Přetížení

V případě, že sítí protéká větší proud, než na který byla dimenzována, dochází k proudovému přetížení, které následně způsobuje přehřívání vedení, což může vést k poškození izolace vedení nebo samotného vodiče.

3.11 Zkrat

Tento poruchový stav je podrobně rozebrán v následující kapitole.

4 ZKRATY

Pojmem zkratová porucha v elektrizační soustavě označujeme elektromagnetický přechodný děj, jenž nastává při vodivém spojení mezi jednotlivými fázemi elektrizační soustavy, případně mezi zemí a některou z fází. Díky tomuto spojení dochází k náhlému vzrůstu proudu, z důvodu vyřazení velké části impedance představované spotřebiči připojenými do obvodu. Vzniklý nadproud poté svými dynamickými a tepelnými účinky ohrožuje všechny části elektrizační soustavy.

Příčinou vzniku chybného vodivého spojení může být například:

- chybná manipulace.
- mechanické poškození izolace.
- poškození izolace vlivem zvýšeného namáhání (např. úderem blesku).
- přirozeným znehodnocením izolace (např. v důsledku působení vlhkosti) [6].

4.1 Dělení zkratů [6]

Zkraty rozeznáváme podle přechodového odporu v místě poruchy mezi jednotlivými vodiči nebo jedním z vodičů a zemí na:

- | | |
|-----------------------------|--|
| a) Dokonalé zkraty | - mají zanedbatelný přechodový odpor, díky dokonalému styku kovových vodičů. Jsou rozhodující pro dimenzování vodičů z toho důvodu, že při jejich vzniku dochází k největšímu silovému namáhání prvků elektrizační soustavy. |
| b) Nedokonalé zkraty | - obvykle jsou doprovázeny vznikem hořícího oblouku, díky nedokonalému styku vodičů. Místo poruchy je také často ohroženo požárem. |

Dále lze zkraty dělit podle způsobu zatěžování třífázových zdrojů na:

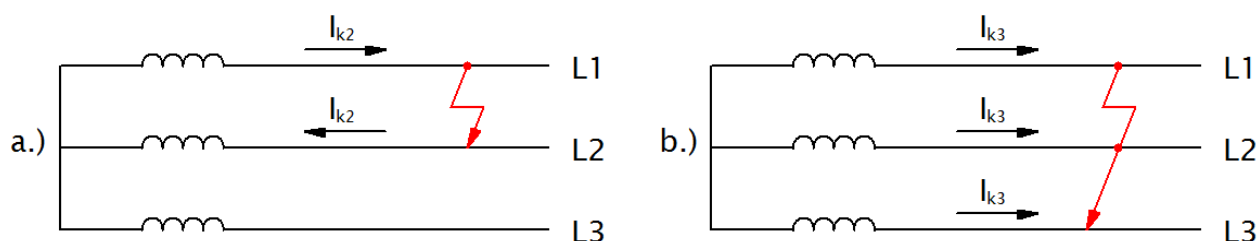
1. Souměrné zkraty:

- třífázové (Obrázek 4.1 b).
- třífázové zemní (Obrázek 4.2 c).

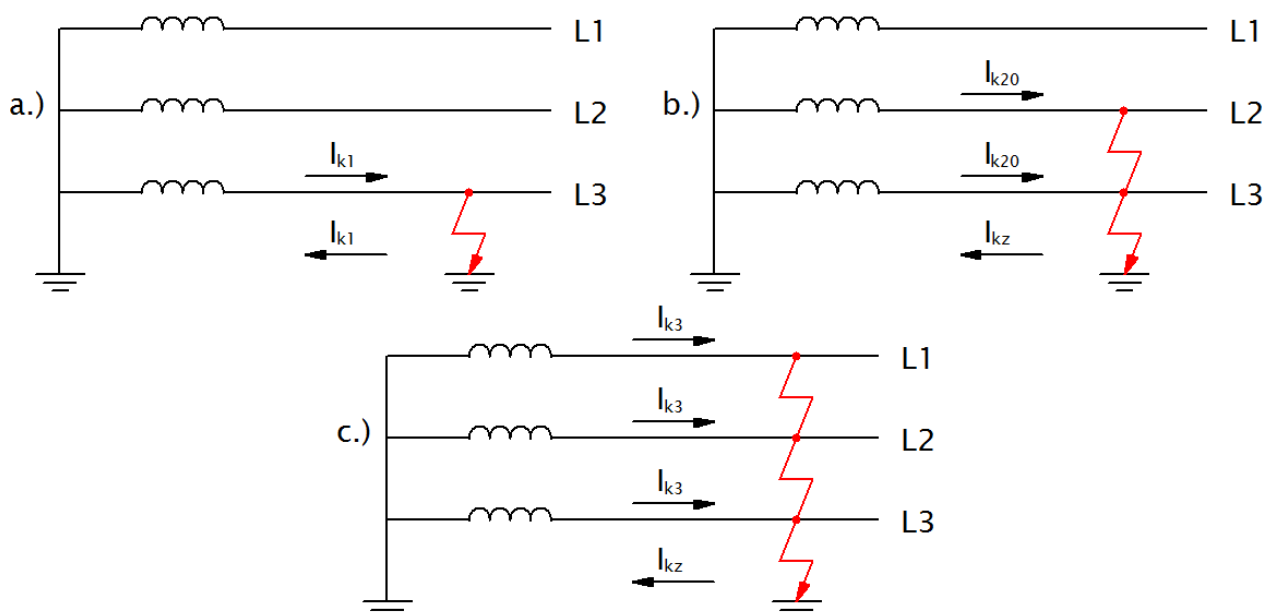
2. Nesouměrné zkraty:

- Jednofázové (Obrázek 4.2 a).
- dvoufázové (Obrázek 4.1 a).
- dvoufázové zemní (Obrázek 4.2 b).

Nejčastěji vyskytujícím se typem zkratu je u venkovních vedení zkrat jednofázový. U kabelových vedení jím je zkrat třífázový nebo třífázový zemní.



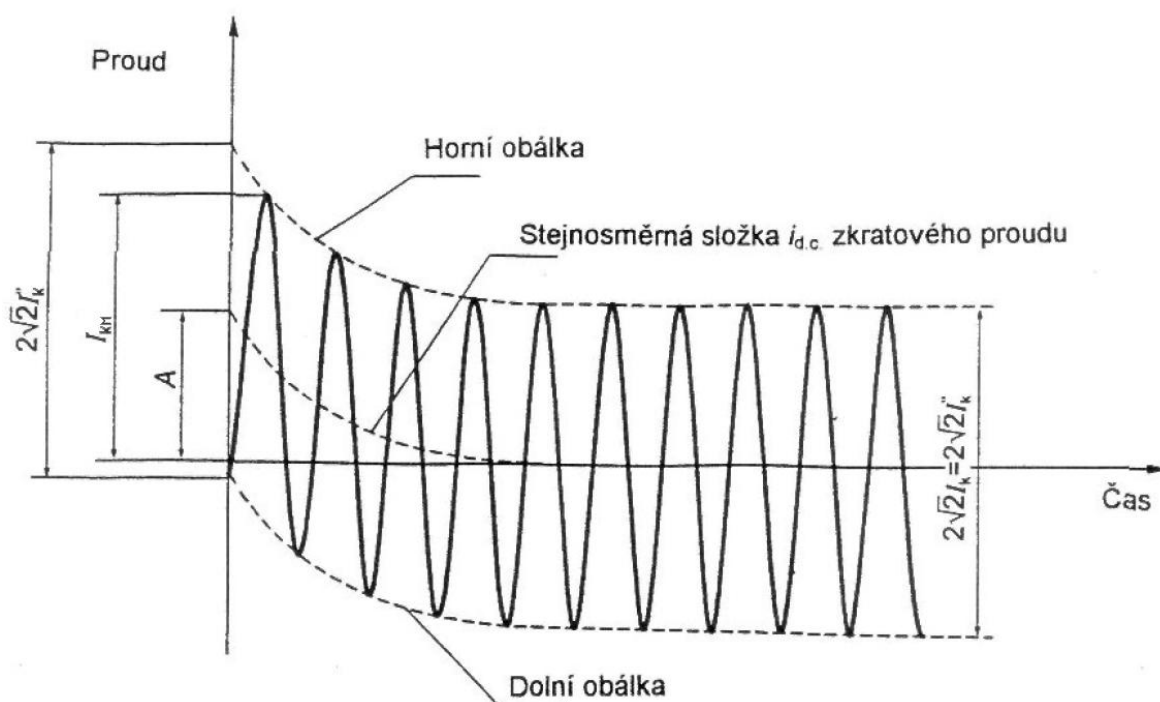
Obrázek 4.1 Dvoufázový a třífázový zkrat



Obrázek 4.2 Jednofázový, dvoufázový a třífázový zemní zkrat

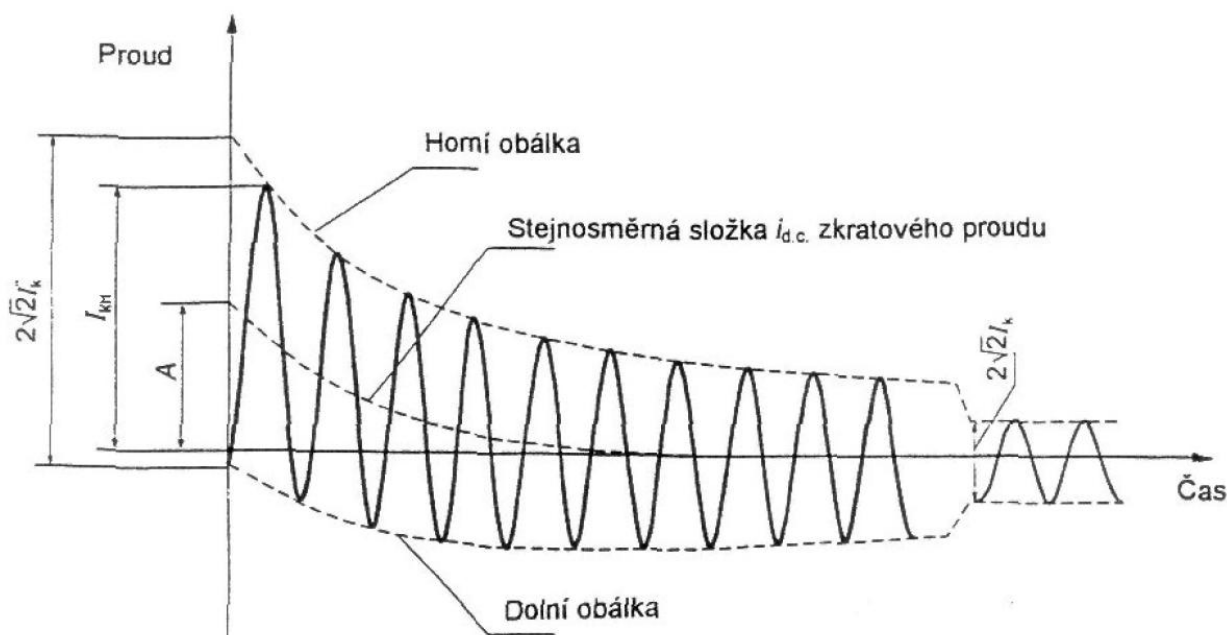
4.2 Průběh zkratového proudu

Při zkratových poruchách dochází k náhlým změnám impedance na svorkách zdrojů, což vede k vzniku přechodného děje ve všech prvcích elektrizační soustavy. Zkratový proud velké velikosti poruší rovnováhu mezi elektrickým a magnetickým polem v prostoru elektrizační soustavy. Zpět do rovnovážného stavu soustava přechází pomocí přechodných složek napětí a proudu. Pro zjednodušení určení časového průběhu napětí a proudu při zkratu se obvykle zanedbávají příčné admittance prvků elektrizační soustavy včetně odběrů [6].



Obrázek 4.3 Průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu [7]

U elektricky vzdáleného zkratu je velikost střídavé složky zkratového proudu téměř konstantní viz. *Obrázek 4.3*, kdežto u elektricky blízkého zkratu je tomu naopak viz. *Obrázek 4.4*.



Obrázek 4.4 Průběh zkratového proudu elektricky blízkého zkratu [7]

4.3 Charakteristické hodnoty zkratového proudu [6]

Pro nastavení a dimenzování elektrických ochran není zapotřebí znát kompletní časový průběh zkratového proudu, ale stačí k tomu pouze takzvané charakteristické hodnoty zkratového proudu, mezi které patří:

- a) **Počáteční rázový zkratový proud I_k''** - efektivní hodnota střídavého zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu.
- b) **Nárazový zkratový proud I_{km}** - vrcholová hodnota zkratového proudu, která nastává při prvním maximu po vzniku zkratu.
- c) **Vypínací zkratový proud I_{vyp}** - efektivní hodnota střídavého zkratového proudu v okamžiku vypnutí.
- d) **Ekvivalentní oteplovací proud I_{ke}** - efektivní hodnota fiktivního proudu s harmonickým průběhem, který za dobu trvání zkratu, při průchodu rezistencí vyvine shodné množství tepla jako časově proměnný zkratový proud s největší možnou stejnosměrnou složkou.
- e) **Ustálený zkratový proud I_k** - efektivní hodnota souměrného zkratového proudu, který protéká obvodem po odeznění přechodného děje.
- f) **SS složka vypínacího zkrat. proudu i_{dc}** - střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu v čase vypnutí zkratu.
- g) **Doba trvání zkratu t_k**

5 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ

Základní normou používanou pro výpočet zkratových proudů v třífázových soustavách je ČSN EN 60909. Norma je platná pro výpočty v sítích nízkého, vysokého, velmi vysokého a zvláště vysokého napětí (do napětí 550 kV), při jmenovité frekvenci 50 Hz případně 60 Hz. Je však platná pouze pro síť s přímo uzemněným uzlem transformátoru nebo uzlem uzemněným přes impedanci.

5.1 Předpoklady výpočtu [7]

Výpočet zkratových proudů podle normy ČSN EN 60909 vychází z těchto zjednodušení:

- a) Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, tzn. třífázový zkrat zůstává třífázovým a zkrat mezi zemí a jednou s fází zůstává po celou dobu trvání zkratu zkratem mezi fází a zemí.
- b) Po celou dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti.
- c) Uvažují se impedance transformátoru pro přepínače odboček v základní poloze. To je přípustné, protože je zaveden korekční součinitel pro impedanci K_T pro síťové transformátory.
- d) Odpory oblouků se neuvažují.
- e) Všechny kapacity vedení a paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě.

5.2 Ekvivalentní napěťový zdroj [7]

Pro zjednodušení výpočtu se do místa zkratu zavádí tzv. ekvivalentní napěťový zdroj, který se stává jediným aktivním napětím soustavy. Dále jsou všechny síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje nahrazeny svou vnitřní impedancí (viz. kapitola 5.4). Velikost ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu je dána vztahem:

$$\frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (5.1)$$

kde: c - napěťový součinitel (*Tabulka 6.1*).

U_n - jmenovité napětí.

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	Max. zkratových proudů $c_{max}^{1)}$	Min. zkratových proudů c_{min}
Nízké napětí 100 V až 1000 V	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
Vysoké napětí 1 kV až 35 kV	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí ²⁾ Více než 35 kV		

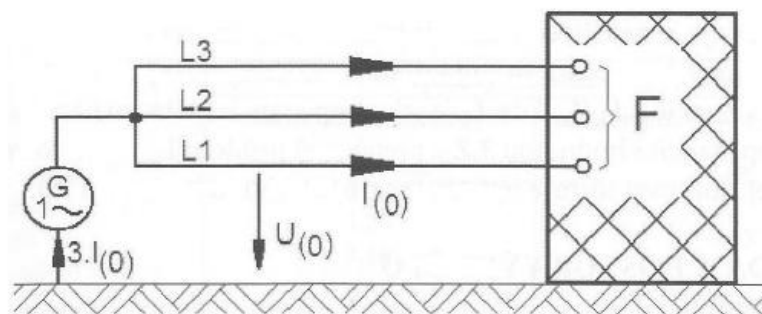
1) $c_{max} \cdot U_n$ by neměl překročit nejvyšší napětí U_m pro zařízení energetických soustav.
2) Pokud není jmenovité napětí definováno potom $c_{max} \cdot U_n = U_m$ nebo $c_{min} \cdot U_n = 0,90 \cdot U_m$.
3) Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí + 6 %, například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V.
4) Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí + 10 %.

Tabulka 5.1 Hodnoty napěťového součinitele c [7]

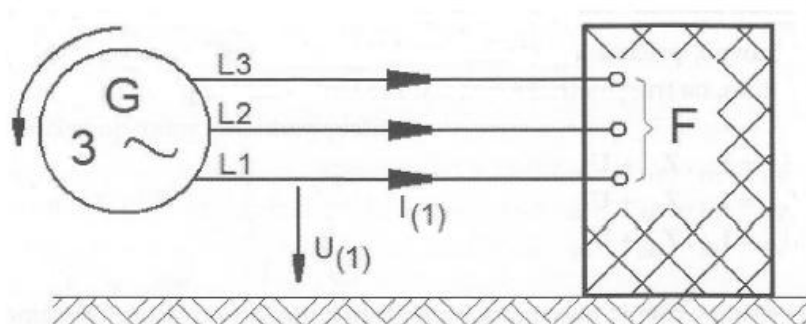
5.3 Použití souměrných složek [7]

Použitím souměrných složek se značně zjednoduší výpočet hodnot proudů v třífázových střídavých soustavách při souměrných i nesouměrných zkratech, za předpokladu, že elektrické zařízení má symetrickou strukturu. Výsledkem jsou při použití této metody výpočtu tři dílčí zkratové impedance:

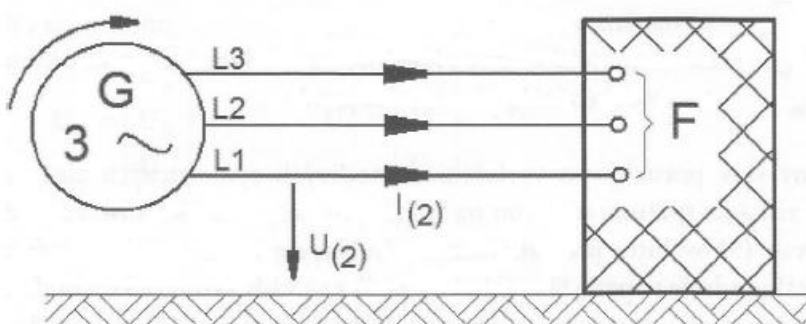
- netočivá složka zkratové impedance - $\overline{Z}_{(0)}$ (Obrázek 5.1)
- sousledná složka zkratové impedance - $\overline{Z}_{(1)}$ (Obrázek 5.2)
- zpětná složka zkratové impedance - $\overline{Z}_{(2)}$ (Obrázek 5.3)



Obrázek 5.1 Netočivá složka zkratové impedance [2]



Obrázek 5.2 Sousedná složka zkratové impedance [2]



Obrázek 5.3 Zpětná složka zkratové impedance [2]

Je potřeba rozlišovat mezi zkratovými impedancemi v místě zkratu F a mezi zkratovými impedancemi elektrických zařízení.

5.4 Zkratové impedance elektrických zařízení

U transformátorů, síťových napáječů, kabelů, venkovních vedení atd. jsou si zpětná a sousledná zkratová impedance soustavy rovny. Netočivá zkratová impedance se určuje ze střídavého napětí mezi třemi paralelními vodiči a společným zpětným vedením. Společným zpětným vedením potom protéká trojnásobek proudu netočivé složky [7].

Pokud se zkratové proudy počítají pomocí ekvivalentního napěťového zdroje, je potřeba vynásobit impedance síťových transformátorů korekčním součinitelem K_T .

5.4.1 Síťové napáječe

Při výpočtech je často potřeba elektrizační soustavu nahradit jediným zdrojem, těmto zdrojům se dle normy ČSN EN 60909 říká síťové napáječe. V praxi ovšem nelze tento zdroj vytvořit. Síťové napáječe mají teoreticky nekonečně velký výkon, konstantní svorkové napětí, nulovou impedanci a nekonečně velkou rozběhovou konstantu. Nahrazují se příslušnou zkratovou impedancí.

Sousledná složka zkratové impedance síťového napáječe je dána vztahem:

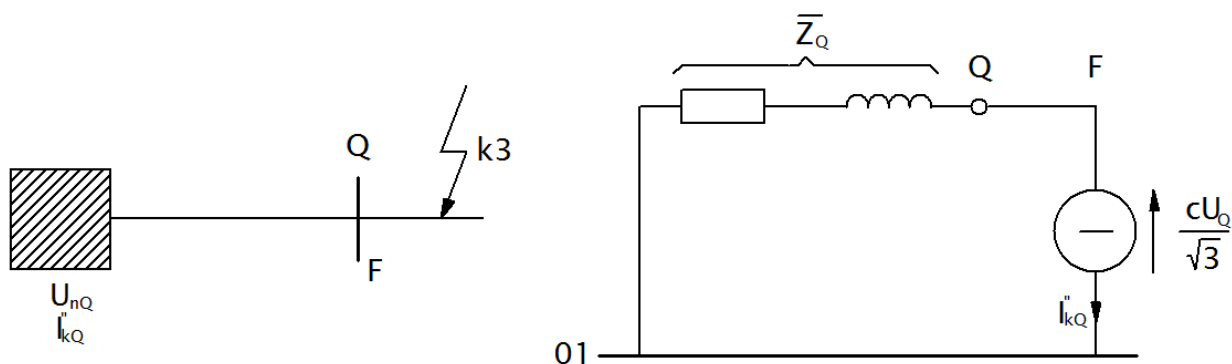
$$Z_{Q(1)} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}''} \quad (\Omega; -, \text{ kV, kA}) \quad (5.2)$$

kde: U_{nQ} - sdružené jmenovité napětí soustavy v bodě Q.

I_{kQ}'' - souměrný rázový zkratový proud v bodě Q.

Netočivá složka zkratové impedance síťového napáječe je dána vztahem [2]:

$$Z_{Q(0)} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{3}{I_{k1f}''} - \frac{2}{I_{k3f}''} \right) \quad (\Omega; -, \text{ kV, kA}) \quad (5.3)$$



Obrázek 5.4 Náhradní schéma síťového napáječe pro třífázový zkrat

V případě napáječů s jmenovitým napětím nad 35 kV napájených z venkovních vedení lze ekvivalentní impedanci \overline{Z}_Q považovat za reaktanci, lze tedy napsat $\overline{Z}_Q = 0 + jX_Q$. Pokud neznáme přesnou hodnotu rezistence R_Q , je možné dosadit $R_Q = 0,1 \cdot X_Q$, kde $X_Q = 0,995 \cdot Z_Q$ [7].

5.4.2 Dvouvinut'ové transformátory [7]

Sousledné zkratové impedance $\overline{Z}_T = R_T + j \cdot X_T$ s odbočkami regulovatelnými při zatížení nebo i bez nich lze vypočítat z jmenovitých údajů tohoto transformátoru:

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (\Omega; \%, \text{ kV, MVA}) \quad (5.4)$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3 \cdot I_{rT}^2} \quad (\Omega; \%, \text{ kV, MVA}) \quad (5.5)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (\Omega; \%, \text{ kV, MVA}) \quad (5.6)$$

kde: u_{kr} - jmenovité napětí nakrátko v procentech.

U_{rT} - jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí.

S_{rT} - jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru.

u_{Rr} - činná složka jmenovitého napětí nakrátko transformátoru v procentech.

P_{krT} - jmenovité ztráty transformátoru nakrátko.

I_{rT} - jmenovitý proud transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí.

Údaje potřebné pro výpočet $\overline{Z}_T = \overline{Z}_{(1)} = \overline{Z}_{(2)}$ a $\overline{Z}_{(0)}$ lze najít na štítku nebo získat od výrobce.

Korekční součinitel dvouvinutového transformátorů se určí ze vztahu:

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \quad (-; -, -) \quad (5.7)$$

kde: x_T - poměrná reaktance transformátoru.

c_{max} - napětový součinitel s ohledem na vnitřní napětí zdroje (viz. *Tabulka 6.1*).

5.4.3 Trojvinutové transformátory [7]

Sousledné zkratové impedance trojvinutových transformátorů \overline{Z}_A , \overline{Z}_B a \overline{Z}_C lze vypočítat pomocí tří zkratových impedancí (vztahených na stranu A transformátoru).

$$\overline{Z}_{AB} = \left(\frac{u_{rAB}}{100} + j \cdot \frac{u_{xAB}}{100} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} \quad (\Omega; \%, \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (\text{rozpojena strana C}) \quad (5.8)$$

$$\overline{Z}_{AC} = \left(\frac{u_{rAC}}{100} + j \cdot \frac{u_{xAC}}{100} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} \quad (\Omega; \%, \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (\text{rozpojena strana B}) \quad (5.9)$$

$$\overline{Z}_{AB} = \left(\frac{u_{rBC}}{100} + j \cdot \frac{u_{xBC}}{100} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}} \quad (\Omega; \%, \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (\text{rozpojena strana A}) \quad (5.10)$$

pomocí vztahů:

$$\overline{Z}_A = \frac{1}{2} \cdot (\overline{Z}_{AB} + \overline{Z}_{AC} - \overline{Z}_{BC}) \quad (\Omega) \quad (5.11)$$

$$\overline{Z}_B = \frac{1}{2} \cdot (\overline{Z}_{AB} + \overline{Z}_{BC} - \overline{Z}_{AC}) \quad (\Omega) \quad (5.12)$$

$$\overline{Z}_C = \frac{1}{2} \cdot (\overline{Z}_{AC} + \overline{Z}_{BC} - \overline{Z}_{AB}) \quad (\Omega) \quad (5.13)$$

kde: u_{xAB}, u_{rAB} - induktivní a činná složka napětí nakrátko mezi stranami A a B.

S_{rTAB} - jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a B.

u_{xAC}, u_{rAC} - induktivní a činná složka napětí nakrátko mezi stranami A a C.

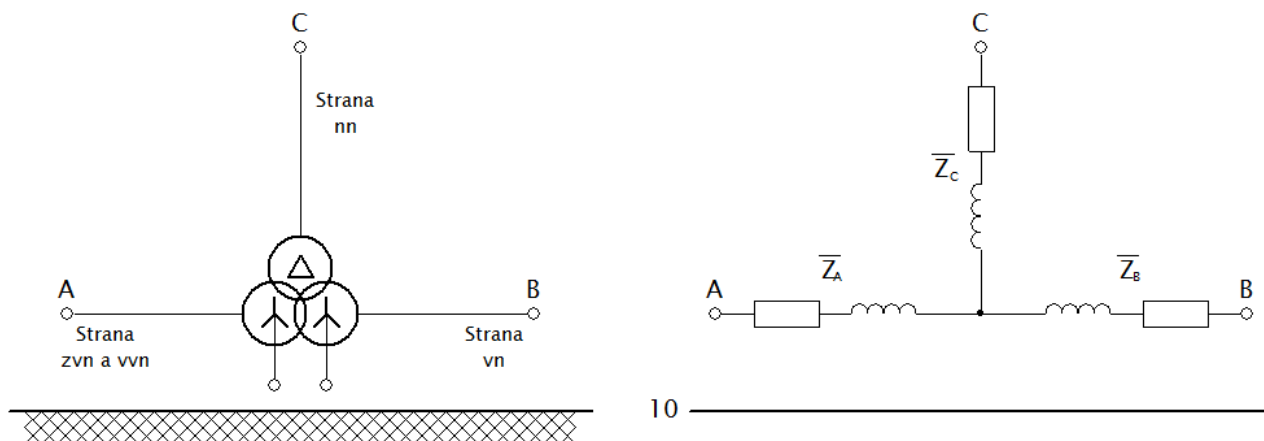
S_{rTAC} - jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a C.

u_{xBC}, u_{rBC} - induktivní a činná složka napětí nakrátko mezi stranami B a C.

S_{rTBC} - jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami B a C.

U_{rTA} - jmenovité napětí na straně A.

Zpětné zkratové impedance se rovnají sousledným stejně jako u dvouvinutových transformátorů. Netočivé zkratové impedance lze také najít na štítku nebo získat od výrobce.



Obrázek 5.5 Vlevo trojvinuťový transformátor a vpravo jeho náhradní schéma

Korekční součinitelé trojvinuťových transformátorů se určují podle následujících rovnic:

$$K_{TAB} = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_{TAB}} \quad (-; -, -) \quad (5.14)$$

$$K_{TAC} = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_{TAC}} \quad (-; -, -) \quad (5.15)$$

$$K_{TBC} = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_{TBC}} \quad (-; -, -) \quad (5.16)$$

5.4.4 Venkovní vedení a kabely [7]

Při výpočtech zkratových proudů na venkovních a kabelových vedeních se zanedbává příčná složka (tzn. admitance \bar{Y}) a vedení nahrazujeme pouze podélnou impedancí $\bar{Z} = R + j \cdot X$.

Činná rezistence na jednotku délky R'_L při teplotě 20 °C je dána vztahem:

$$R'_L = \frac{\rho}{q_n} \quad (\Omega \cdot \text{km}^{-1}; \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{km}^{-1}, \text{mm}^2) \quad (5.17)$$

kde: ρ - měrný odpor.

q_n - jmenovitý průřez.

Reaktance na jednotku délky X'_L je dána vztahem:

$$X'_L = 0,0628 \cdot \left(\frac{0,25}{n} + \ln \cdot \frac{d}{r} \right) \quad (\Omega \cdot \text{km}^{-1}) \quad (5.18)$$

kde: n - počet svazkových vodičů.

d - střední geometrická vzdálenost mezi vodiči nebo středem svazku

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}}.$$

r - poloměr jednoduchého vodiče, v případě svazkových vodičů

$$r = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot R^{n-1}}, \text{ kde } R \text{ je poloměr svazku.}$$

Sousledná a zpětné složka zkratových impedancí jsou si rovny.

5.5 Výpočet charakteristických hodnot zkratového proudu

V případě, že již známe celkovou zkratovou impedanci v místě zkratu, lze určit charakteristické hodnoty uvedené v kapitole 4.3.

5.5.1 Počáteční rázový zkratový proud I_k'' [7]

5.5.1.1 Jednofázový zkrat

Jednofázový počáteční rázový zkratový proud I_k'' se určí podle vztahu:

$$I_{k1f}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|Z_{(1)}| + |Z_{(2)}| + |Z_{(0)}|} \quad (\text{A}; -, \text{V}, \Omega) \quad (5.19)$$

Pro elektricky vzdálený zkrat platí $\overline{Z_{(2)}} = \overline{Z_{(1)}}$, rovnice potom tedy dostane tvar:

$$I_{k1f}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{2 \cdot |Z_{(1)}| + |Z_{(0)}|} \quad (\text{A}; -, \text{V}, \Omega) \quad (5.20)$$

5.5.1.2 Třífázový zkrat

Při výpočtu pomocí ekvivalentního napětového zdroje a výsledné zkratové impedance v místě zkratu je vztah pro třífázový zkrat:

$$I_{k3f}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} \quad (\text{A}; -, \text{V}, \Omega) \quad (5.21)$$

5.5.2 Nárazový zkratový proud I_{km} [7]

5.5.2.1 Jednofázový zkrat

Vztah pro jednofázový nárazový zkratový proud:

$$I_{km} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1f}'' \quad (\text{A}; -, \text{A}) \quad (5.22)$$

Součinitel k je dovoleno pro zjednodušení použít stejný jako pro třífázový zkrat.

5.5.2.2 Třífázový zkrat

Třífázový nárazový zkratový proud je dán vztahem:

$$I_{km} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k3f}'' \quad (\text{A}; -, \text{A}) \quad (5.23)$$

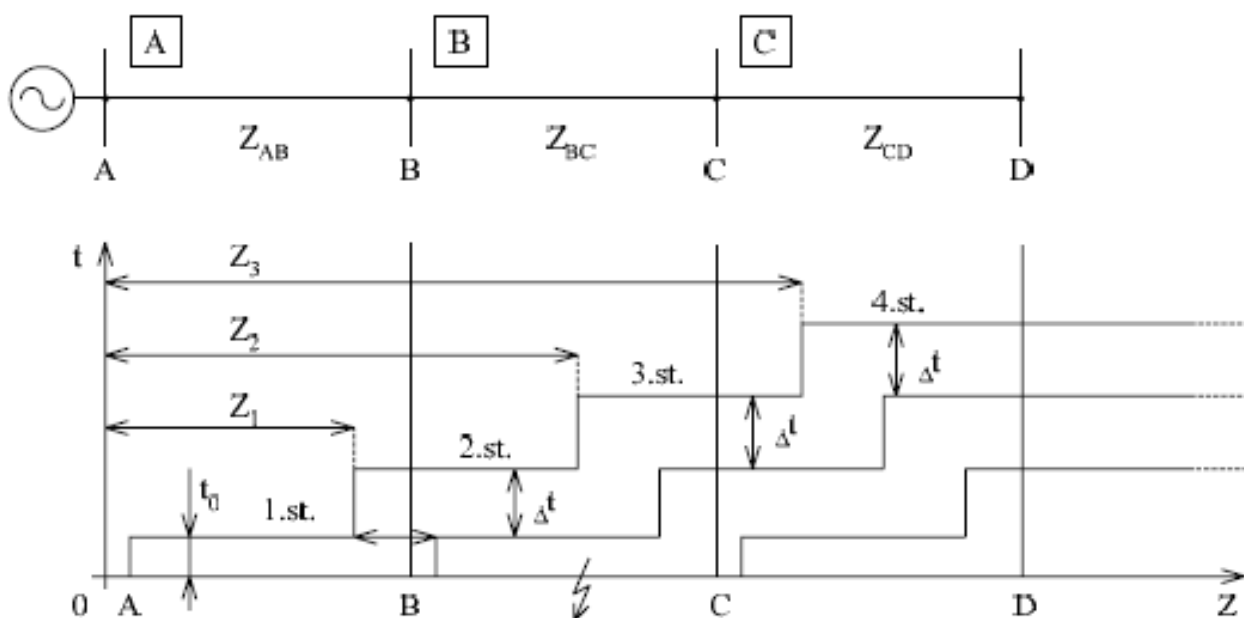
kde: k - součinitel pro poměr $\frac{R}{X}$ nebo $\frac{X}{R}$, určuje se podle vztahu:

$$k = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3R/X} \quad (-; \Omega, \Omega) \quad (5.24)$$

6 DISTANČNÍ OCHRANY

Distanční ochrany patří společně s nadproudovými mezi takzvané stupňovité ochrany. Díky principu fungování těchto ochrany, který je založen na vyhodnocování impedance vedení mezi ochranou a místem poruchy (naměřená impedance prakticky určuje vzdálenost od místa poruchy), jsou označovány také jako ochrany impedance. Tento typ ochrany je nejčastěji používán na vedeních vn a vvn a dále u transformátorů vysokých výkonů.

Na Obrázku 6.1 je zobrazen příklad vypínací charakteristiky se zkratem znázorněným mezi body B a C, pokud dojde ke zkratu mezi těmito body, naběhnou ochrany v bodech A a B. V bodě B vypíná ochrana v čase t_0 , což je čas vlastní působení ochrany. U moderních ochrany se tento čas v praxi pohybuje v řádu desítek milisekund, pokud ochrana v bodě B selže, vypíná následující ochrana v bodě A, ovšem již s časovým zpožděním druhého nebo třetího stupně. Díky tomuto způsobu vzájemného zálohování ochrany se vypínací časy poruch směrem blíže ke zdroji neprodlužují [1].



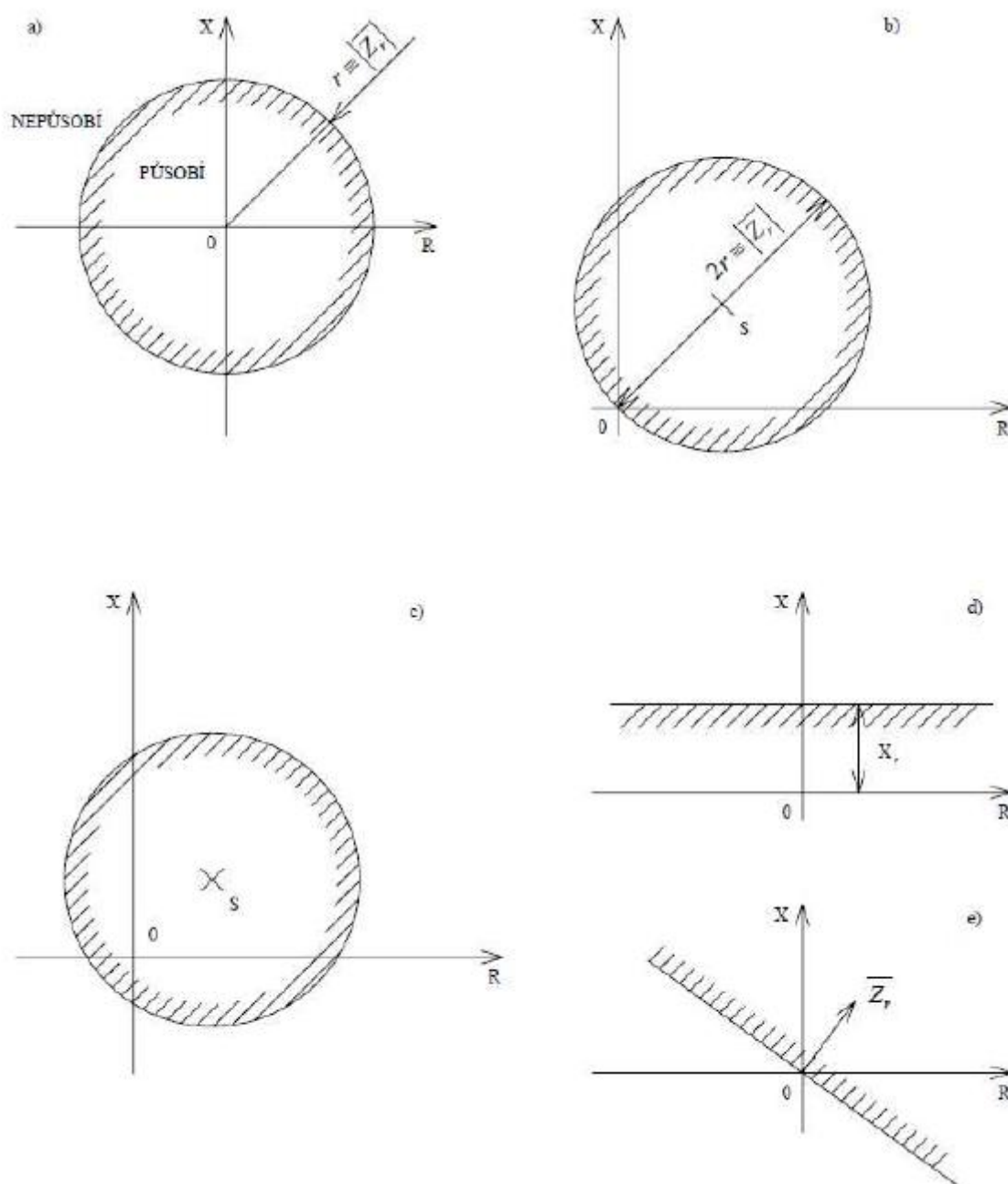
Obrázek 6.1 Příklad vypínací charakteristiky distančních ochrany [1]

Distanční ochrana se skládá zpravidla z těchto členů:

- a) **popudového** - který zjišťuje zda vznikl v chráněné soustavě zkrat. Tento člen může být jak nadproudový tak impedance.
- b) **měřicího** - který je zpravidla realizován jako amplitudový nebo fázový komparátor. Výjimkou jsou digitální ochrany, kde je tento člen realizován číslicově.
- c) **směrového** - který určuje jestli zkrat leží ve směru působnosti ochrany.
- d) **časového**
- e) **koncového** - který rozhoduje o vypnutí [1].

6.1 Měřicí člen distanční ochrany

Tento prvek distanční ochrany na základě vstupních hodnot (napětí a proudu v místě připojení dané ochrany), měří impedanci. Při poklesu této impedance pod nastavenou hodnotu dává impuls k vypnutí úseku vedení. Na *Obrázku 6.2* jsou zobrazeny nejčastěji používané charakteristiky měřících členů distančních ochran v impedanční rovině [1].



Obrázek 6.2 Impedanční z kruhovou charakteristikou (a), tzv. „mho“ procházející počátkem ve středové poloze (b), tzv. „offset mho“ což je vysunutá charakteristika „mho“ (c), reaktanční charakteristika (d), přímková charakteristika procházející počátkem (e) [1]

Měřicí člen může být buď jeden, nebo lze použít pro každý stupeň samostatný měřicí člen. Pokud je použit pouze jeden využívá se potom přepínání citlivosti (dosahu) pro jednotlivé stupně. V třífázové účinně uzemněné soustavě může dojít ke vzniku jedenácti různým druhům zkratů, díky tomuto faktu jsou požadavky na korektnost měření značně vysoké. Konkrétně se jedná o tyto typy zkratu:

- jednopólové - L1 - N, L2 - N, L3 - N
- dvojpólové zemní - L2 - L3 - N, L1 - L2 - N, L3 - L1 - N
- dvojpólové izolované - L2 - L3, L1 - L2, L3 - L1
- trojpólový zemní - L1 - L2 - L3 - N
- trojpólový izolovaný - L1 - L2 - L3

Pro pokrytí těchto typů zkratů se používá různých počtů měřících členů:

- a) **šest členů** - konkrétně tři pro jednopólové zkraty a zbývající tři pro zkraty mezifázové. Ostatní typy zkratů jsou pouze obměnou těchto šesti a jsou v nich zahrnuty.
- b) **tři členy** - v běžném provozu jsou připojeny pro měření mezifázových zkratů, pokud dojde ke vzniku nulové složky zkratového proudu dojde k přepnutí z mezifázového zapojení do zapojení fáze - zem, protože tato složka zkratového proudu se objevuje při zemních zkratech.
- c) **jeden člen** - jedná se o nejméně spolehlivý, ale zato úsporný způsob. Na měřicí člen je přivedeno napětí a proud, které určí popudové členy logikou, která podle jejich sepnutí vyhodnotí typ zkratu. V *Tabulce 6.1* je zobrazen příklad logiky výběru poruchové smyčky.

Druh zkratu	Popud nabíhá ve fázi	Měřicí člen dostává	
		proud	napětí
L1 - L3	L1, L3	L3	L1 - L3
L2 - L1	L2, L1	L2	L2 - L1
L3 - L2	L3, L2	L3	L3 - L2
L1 - N	L1, N	L1	L1 - N
L2 - N	L2, N	L2	L2 - N
L3 - N	L3, N	L3	L3 - N
L1 - L3 - N	L1, L3, N	L3	L3 - N
L2 - L1 - N	L2, L1, N	L2	L2 - N
L3 - L2 - N	L3, L2, N	L3	L3 - N
L1 - L2 - L3	L1, L2, L3	L3	L1 - L3

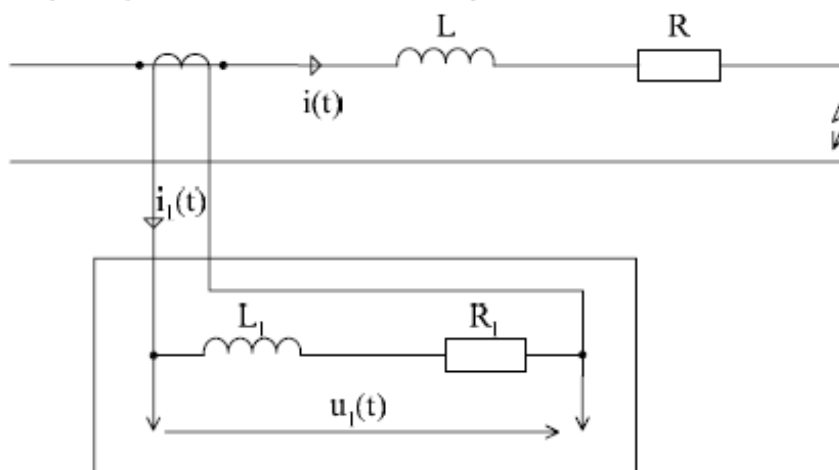
Tabulka 6.1 Logika výběru poruchové smyčky pro měřicí člen

6.2 Kompenzace stejnosměrné složky

Pokud budeme uvažovat, že vstupní napětí a proudy jsou harmonického průběhu, tak měřená impedance bude:

$$\bar{Z} = R + jX = \frac{\bar{U}}{\bar{I}} \quad (\Omega; \Omega, \Omega, V, A) [1] \quad (6.1)$$

Tento vztah však nebude platit pokud zkratový proud bude obsahovat i stejnosměrnou složku, proto je potřeba pro zabezpečení správného měření stejnosměrnou složku odfiltrovat v součtovém členu pomocí tzv. „modelové impedance“ (viz. *Obrázek 6.3*).



Obrázek 6.3 Modelová impedance [1]

6.3 Kompenzace při zemních zkratech

V běžné praxi se dosah jednotlivých měřicích členů nastavuje podle hodnoty sousledné impedance chráněného vedení. V případě, že je distanční ochrana vybavena samostatnými měřicími členy působícími při dvoupólových izolovaných zkratech, tak je potřeba počítat při jejich seřizování s tím, že sousledná zkratová impedance do místa zkratu bude mít dvojnásobnou velikost. Pokud má ochrana jen jeden měřicí člen, pak se při zjištění, že se jedná o dvoupólový izolovaný zkrat změní automaticky citlivost měřicího členu v poměru 1:2.

Je-li dosah měřicího členu při zemních zkratech seřízen podle sousledné impedance je potřeba provést určitou korekci díky rozdílným impedancím mezi fází a zpětnou cestou proudu zemí [1].

6.4 Nastavení měřicích členů

Distanční ochrany jsou zpravidla provedeny se třemi až čtyřmi stupni s časovým odstupňováním kvůli selektivnímu působení. Na *Obrázku 6.1* je znázorněn vypínací plán pro dosažení požadované selektivity. Při nastavování dosahu jednotlivých stupňů je potřeba brát v úvahu rozlišovací schopnost měřicího impedančního členu. V praxi bývá obvykle uvažována chyba měření cca 10 % nastavené impedance [1].

Vzhledem k možným chybám měření impedance se všeobecně doporučuje provést nastavení dosahu jednotlivých stupňů následovně:

1. **rychlý stupeň** - $Z_1 = k \cdot Z_{AB}$, kde k je bezpečnostní koeficient jehož hodnota závisí na přesnosti měření impedance a obvykle bývá 0,8 až 0,9.
2. **stupeň** - $Z_2 = k \cdot (Z_{AB} + k \cdot Z_{BC})$
3. **stupeň** - $Z_3 = k \cdot [Z_{AB} + k(Z_{BC} + k \cdot Z_{CD})]$
4. **stupeň** - dosah je určen citlivostí popudového členu ochrany.

Postup platí pro nastavení ochrany v bodě A na *Obrázku 6.1*, Z_{AB} , Z_{BC} , Z_{CD} jsou sousledné impedance jednotlivých úseků chráněného vedení. Z důvodu, aby nedošlo k neselektivnímu působení dvou ochrany se nechává 10 až 20 % rezerva mezi nastavením jednotlivých stupňů [1].

6.5 Nastavení popudových členů

Popudové členy distančních ochrany jsou nejčastěji impedanční a nadproudové. V případě, že je popudový člen impedanční je potřeba dodržet podmínku, že člen nebude působit při běžném provozu tedy:

$$Z_r \leq Z_{min} = \frac{U_{min}}{I_{max}} \quad (\Omega; \Omega, V, A) \quad (6.2)$$

kde: Z_r - nastavení impedančního popudového členu s oblastí působení vymezenou příslušnou charakteristikou.

U_{min} - nejnižší očekávané napětí v běžném provozu.

I_{max} - největší proud vedení.

Dále musí platit podmínka:

$$Z_r \geq k_c \cdot Z_{kmax} \quad (\Omega; -, \Omega) \quad (6.3)$$

kde: k_c - koeficient citlivosti a jeho obvyklá hodnota bývá větší než 1,5.

Z_{kmax} - největší hodnota zkratové impedance měřená ochranou při zkratu na konci chráněného úseku vedení.

Díky této podmínce popudový člen zachytí i zkraty v sousedním úseku vedení, který daná distanční ochrana zálohují.

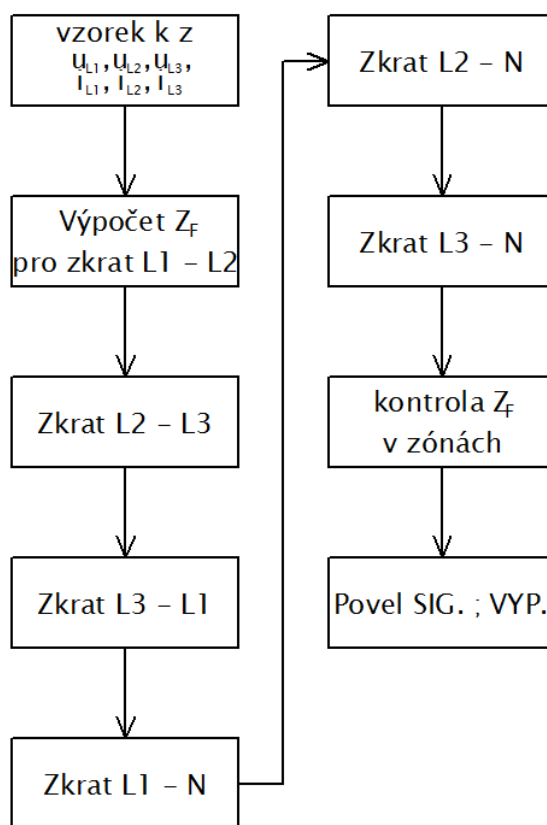
Pokud je použit nadproudový popudový člen nastavují se podle stejných zásad jako nadproudové nezávislé ochrany, stanoví se tedy časově koordinační interval a rozběhový proud. Je však potřeba uvažovat minimální zkratový proud kontrolou při všech druzích zkratu.

6.6 Digitální distanční ochrany

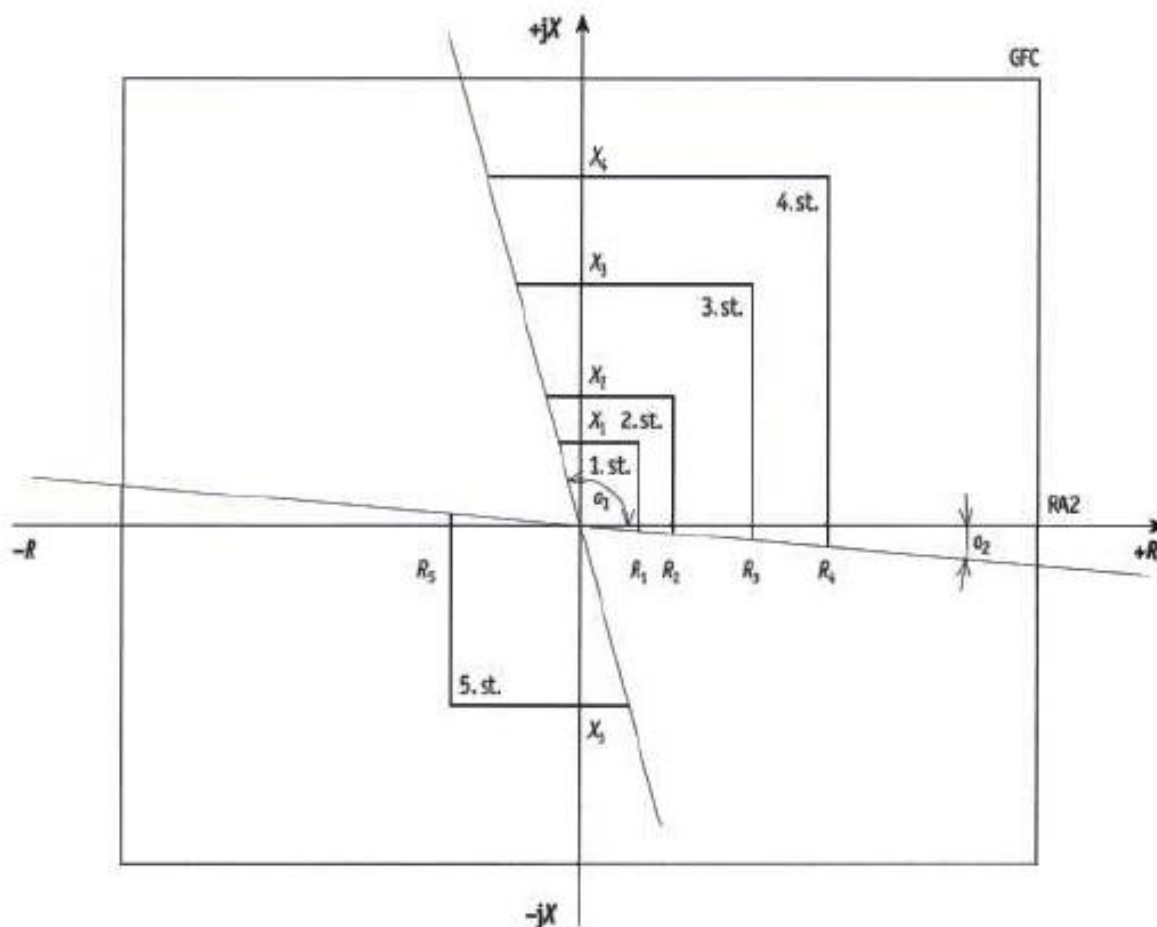
Úlohou digitálních distančních ochran je chránění trojfázového vedení pro jeden terminál, algoritmy těchto ochran jsou založeny na principu výpočtu velikosti poruchové impedance chráněného vedení, ovšem nejprve je potřeba určit typ zkratu.

Nejjednodušším algoritmem pro zjištění typu daného zkratu se skládá ze šesti bloků, ve kterých se postupně zjišťuje typ zkratu, přičemž ve třech blocích se určují jednotlivé jednofázové zemní zkraty a v ostatních třech blocích mezifázové zkraty. Na *Obrázku 6.4* je zobrazen vývojový digram výpočtového programu. V první řadě se ze změřených vzorků v poruchovém stavu určí fázory napětí a proudu všech fází, dále se z těchto fázorů během šesti kroků spočte šest impedancí poruchových smyček. Porovnáním každé z těchto spočtených impedancí s nastavenou charakteristikou ochrany (příklad takové charakteristiky zobrazuje *Obrázek 6.5* se určí místo poruchy a typ zkratu díky tomu, že pouze jedna hodnota se bude shodovat.

Ve výpočtovém algoritmu se dále určí pro daný typ poruchy zóna a vypínací čas, poté se dá signál k vypnutí chráněného vedení [3].



Obrázek 6.4 Vývojový diagram šesti blokové digitální distanční ochrany



Obrázek 6.5 Impedanční charakteristika digitální distanční ochrany [3]

6.7 Pozitiva a negativa distančních ochran [1]

6.7.1 Hlavní pozitiva distančních ochran:

- Dobrá selektivita působení.
- Malé zpoždění při likvidaci zkratů vzniklých v prvním stupni.
- Mnohem vyšší citlivost při zkratech oproti nadproudovým ochranám.
- Možnost přibližného dopočtu vzdálenosti poruchy.
- Možnost selektivního zálohování.
- K provozu nepotřebuje spojovací cesty, jako například srovnávací ochrana.

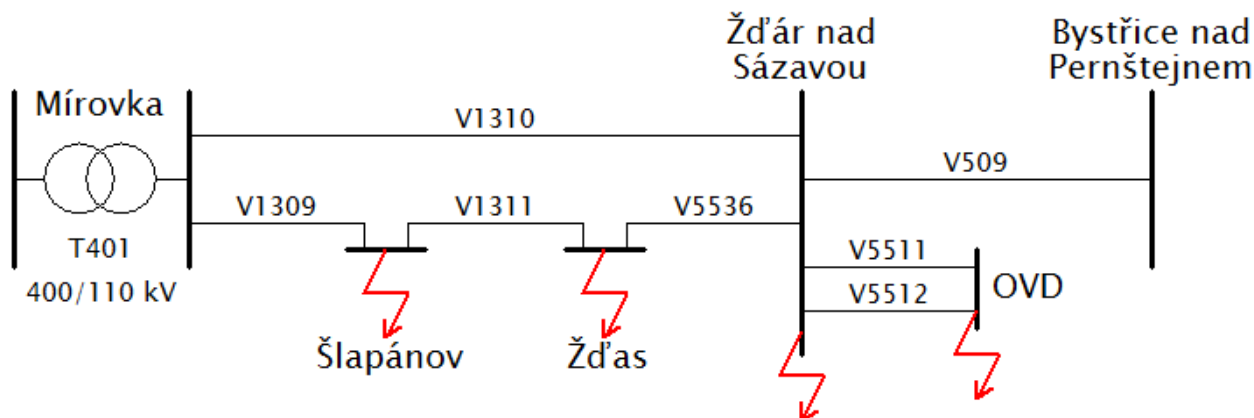
6.7.2 Hlavní negativa distančních ochran:

- Reagují na kývání a přetížení, proto je potřeba je vybavit konstrukcí charakteristik měřících členů.
- Při nastavování jednotlivých stupňů ochrany je přesnost měření ovlivněna ne-homogenitou vedení (jednotlivé fáze vedení mohou mít rozdílnou impedanci).
- Potíže při nastavování druhého a třetího stupně u složitějších zapojení sítí.
- Špatná funkce při vysoko-impedančních poruchách.

7 VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ V ZADANÉ ČÁSTI SÍTĚ

7.1 Základní informace o zadané síti

Na *Obrázku 7.1* je k vidění schéma zadané části sítě, ve které se budou počítat zkratové poměry, přičemž s výjimkou rozvodny ve Šlapánově a Žďas (společnost ČEZ) patří celá část sítě společnosti E.ON. Sít' společnosti E.ON je podrobně vyobrazena v **příloze C**.



Obrázek 7.1 Schéma zadané sítě

Za běžného provozu je celá síť napájena z transformátoru T401 (400/110 kV; 350 MVA; $u_{kr} = 13\%$; $t_r = 400/121$; jádrový) v rozvodně Mírovka a vedení V509, které síť spojuje s rozvodnou v Bystřici nad Pernštejnem je vypnuto. Pokud by však v rozvodně Mírovka došlo k poruše, která by zapříčinila neschopnost napájení sítě elektrickou energií, lze sepnutím vedení V509 celý tento usek sítě napájet z rozvodny v Bystřici nad Pernštejnem.

V rozvodnách Šlapánov a Žďas se nachází transformátory 110/22 kV o výkonu 25 MVA, přičemž ve Šlapánově jsou tyto transformátory dva a ve Žďasu pouze jeden.

K rozvodně ve Žďasu je připojena také závodní elektrárna se dvěma generátory o výkonu 7,5 MVA, ovšem z důvodu zjednodušení výpočtu nebude v této práci počítáno s jejich zkratovými příspěvky.

Dále je známá velikost zkratových výkonů na úrovni 400 kV v rozvodně Mírovka, kde má třífázový zkrat velikost 6565 MVA a jednofázový 5671 MVA.

Všechny zbývající parametry potřebné k výpočtům zkratů ve vybrané části sítě jsou uvedeny v **příloze B**.

7.2 Výpočet náhradních impedancí v obvodu

7.2.1 Výpočet náhradní impedance síťového napáječe

Sousledná a zpětná složka náhradní impedance síťového napáječe:

$$I_{k3f}'' = \frac{S_{k3f}''}{U_{nQ}} = \frac{6565 \cdot 10^6}{400 \cdot 10^3} = 16,4125 \text{ kA} \quad (7.1)$$

$$Z_{QM(1)} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{k3f}''} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 16,4125 \cdot 10^3} = 4,2565 \Omega \quad (7.2)$$

$$\overline{Z_{QM(1)}} = j \cdot Z_{Q(1)} = j \cdot 4,2565 \Omega \quad (7.3)$$

Netočivá složka náhradní impedance síťového napáječe:

$$I_{k1f}'' = \frac{S_{k1f}''}{U_{nQ}} = \frac{5671 \cdot 10^6}{400 \cdot 10^3} = 14,1775 \text{ kA} \quad (7.4)$$

$$Z_{QM(0)} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{3}{I_{k1f}''} - \frac{2}{I_{k3f}''} \right) = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{3}{14,1775 \cdot 10^3} - \frac{2}{16,4125 \cdot 10^3} \right) \quad (7.5)$$

$$Z_{QM(0)} = 6,8964 \Omega$$

$$\overline{Z_{QM(0)}} = j \cdot Z_{Q(0)} = j \cdot 6,8964 \Omega \quad (7.6)$$

7.2.2 Výpočet náhradní impedance transformátoru v rozvodně Mírovka

Sousledná a zpětná složka náhradní impedance transformátoru:

$$Z_{T401} = u_{kr} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = 0,13 \cdot \frac{(121 \cdot 10^3)^2}{350 \cdot 10^6} = 5,4381 \Omega \quad (7.7)$$

V případě, že uvažujeme pouze s reaktancí transformátoru, potom platí $u_{kr} \approx x_T$.

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,13} = 0,9694 \quad (7.8)$$

$$\overline{Z_{T401(1)}} = \overline{Z_{T401(2)}} = j \cdot Z_{T401} \cdot K_T = j \cdot 5,4381 \cdot 0,9694 = j \cdot 5,2717 \Omega \quad (7.9)$$

Pro netočivou impedanci jádrového transformátoru platí vztah [2]:

$$\overline{T_{T401(0)x}} = 0,85 \cdot \overline{Z_{T401(1)}} = 0,85 \cdot j \cdot 5,2717 \Omega = 4,4809 \Omega \quad (7.10)$$

$$X_{T401(0)} = |\overline{Z_{T401(0)x}}| = 4,4809 \Omega \quad (7.11)$$

$$x_T = \frac{X_{T(0)} \cdot S_{rT}}{U_{rT}^2} = \frac{4,4809 \cdot 350 \cdot 10^3}{(121 \cdot 10^3)^2} = 0,1071 \quad (7.12)$$

$$K_{T(0)} = 0,95 \cdot \frac{c}{1 + 0,6 \cdot x_T} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,1071} = 0,9819 \quad (7.13)$$

$$\overline{Z_{T401(0)}} = \overline{Z_{T401(0)x}} \cdot K_{T(0)} = j \cdot 4,4809 \cdot 0,9819 = 4,3998 \Omega \quad (7.14)$$

7.2.3 Výpočty náhradních impedanci jednotlivých vedení

7.2.3.1 Výpočet náhradní impedance vedení V1310

Sousledná a zpětná složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V1310(1)} = \overline{Z}_{V1310(2)} = R_{V1310} + j \cdot X_{V1310} = (3,9470 + j \cdot 12,8520) \Omega \quad (7.23)$$

Netočivá složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V1310(0)} = R_{V1310} \cdot \left(\frac{R_{(0)}}{R_{(1)}} \right)_{V1310} + j \cdot X_{V1310} \cdot \left(\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} \right)_{V1310} \quad (7.24)$$

$$\overline{Z}_{V1310(0)} = 3,9470 \cdot 1,97 + j \cdot 12,8520 \cdot 2,64 = (7,7756 + j \cdot 33,9293) \Omega \quad (7.25)$$

7.2.3.2 Výpočet náhradní impedance vedení V1309

Sousledná a zpětná složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V1309(1)} = \overline{Z}_{V1309(2)} = R_{V1309} + j \cdot X_{V1309} = (0,7010 + j \cdot 2,2810) \Omega \quad (7.26)$$

Netočivá složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V1309(0)} = R_{V1309} \cdot \left(\frac{R_{(0)}}{R_{(1)}} \right)_{V1309} + j \cdot X_{V1309} \cdot \left(\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} \right)_{V1309} \quad (7.27)$$

$$\overline{Z}_{V1309(0)} = 0,7010 \cdot 1,97 + j \cdot 2,2810 \cdot 2,64 = (1,3801 + j \cdot 6,0218) \Omega \quad (7.28)$$

7.2.3.3 Výpočet náhradní impedance vedení V1311

Sousledná a zpětná složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V1311(1)} = \overline{Z}_{V1311(2)} = R_{V1311} + j \cdot X_{V1311} = (3,2160 + j \cdot 10,4020) \Omega \quad (7.29)$$

Netočivá složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V1311(0)} = R_{V1311} \cdot \left(\frac{R_{(0)}}{R_{(1)}} \right)_{V1311} + j \cdot X_{V1311} \cdot \left(\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} \right)_{V1311} \quad (7.30)$$

$$\overline{Z}_{V1311(0)} = 3,2160 \cdot 1,96 + j \cdot 10,4020 \cdot 2,64 = (6,3034 + j \cdot 27,4613) \Omega \quad (7.31)$$

7.2.3.4 Výpočet náhradní impedance vedení V5536

Sousledná a zpětná složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V5536(1)} = \overline{Z}_{V5536(2)} = R_{V5536} + j \cdot X_{V5536} = (0,3710 + j \cdot 0,9630) \Omega \quad (7.32)$$

Netočivá složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V5536(0)} = R_{V5536} \cdot \left(\frac{R_{(0)}}{R_{(1)}} \right)_{V5536} + j \cdot X_{V5536} \cdot \left(\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} \right)_{V5536} \quad (7.33)$$

$$\overline{Z}_{V5536(0)} = 0,3710 \cdot 1,91 + j \cdot 0,9630 \cdot 3,19 = (0,7086 + j \cdot 3,0720) \Omega \quad (7.34)$$

7.2.3.5 Výpočet náhradní impedance vedení V509

Sousledná a zpětná složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V509(1)} = \overline{Z}_{V509(2)} = R_{V509} + j \cdot X_{V509} = (3,3990 + j \cdot 8,8450) \Omega \quad (7.35)$$

Netočivá složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V509(0)} = R_{V509} \cdot \left(\frac{R_{(0)}}{R_{(1)}} \right)_{V509} + j \cdot X_{V509} \cdot \left(\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} \right)_{V509} \quad (7.36)$$

$$\overline{Z}_{V509(0)} = 3,3990 \cdot 1,82 + j \cdot 8,8450 \cdot 2,68 = (6,1862 + j \cdot 23,7046) \Omega \quad (7.37)$$

7.2.3.6 Výpočet náhradní impedance vedení V5511 a V5512

$$Z_{V5511} = Z_{V5512} \quad (7.38)$$

Sousledná a zpětná složka zkratové impedance vedení:

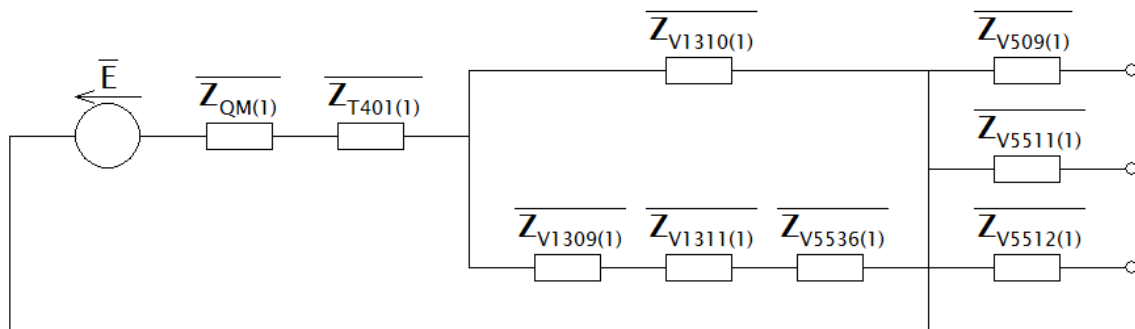
$$\overline{Z}_{V5511(1)} = \overline{Z}_{V5511(2)} = R_{V5511} + j \cdot X_{V5512} = (0,9810 + j \cdot 2,5320) \Omega \quad (7.39)$$

Netočivá složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{V5511(0)} = R_{V5511} \cdot \left(\frac{R_{(0)}}{R_{(1)}} \right)_{V5511} + j \cdot X_{V5511} \cdot \left(\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} \right)_{V5511} \quad (7.40)$$

$$\overline{Z}_{V509(0)} = 0,9810 \cdot 2,38 + j \cdot 2,5230 \cdot 3,41 = (2,3348 + j \cdot 8,6034) \Omega \quad (7.41)$$

7.3 Výpočet 3f zkratu v rozvodně Žďár nad Sázavou



Obrázek 7.2 Náhradní schéma pro třífázový zkrat v rozvodně Žďár nad Sázavou

Celková sousledná složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{celk(1)} = \overline{Z}_{QM(1)} + \overline{Z}_{T401(1)} + \frac{\overline{Z}_{V1310(1)} \cdot (\overline{Z}_{V1309(1)} + \overline{Z}_{V1311(1)} + \overline{Z}_{V5536(1)})}{\overline{Z}_{V1310(1)} + (\overline{Z}_{V1309(1)} + \overline{Z}_{V1311(1)} + \overline{Z}_{V5536(1)})} = \quad (7.42)$$

$$= j \cdot 4,2565 + j \cdot 5,2717 + \frac{(3,9470 + j \cdot 12,8520) \cdot (4,2880 + j \cdot 13,6460)}{(3,9470 + j \cdot 12,8520) + (4,2880 + j \cdot 13,6460)} =$$

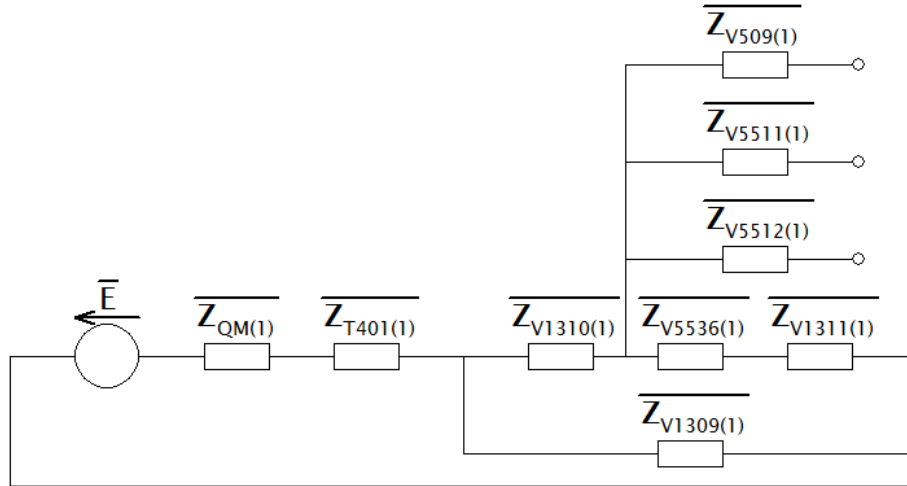
$$= (2,0555 + j \cdot 16,1468) \Omega$$

$$|Z_{celk(1)}| = \sqrt{2,0555^2 + 16,1468^2} = 16,2771 \Omega \quad (7.43)$$

Počáteční rázový třífázový zkratový proud:

$$I_{k3f}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{celk(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 16,2771} = 4,2919 \text{ kA} \quad (7.44)$$

7.4 Výpočet 3f zkratu v rozvodně Šlapánov



Obrázek 7.3 Náhradní schéma pro třífázový zkrat v rozvodně Šlapánov

Celková sousledná složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z_{celk(1)}} = \overline{Z_{QM(1)}} + \overline{Z_{T401(1)}} + \frac{\overline{Z_{V1309(1)}} \cdot (\overline{Z_{V1310(1)}} + \overline{Z_{V5536(1)}} + \overline{Z_{V1311(1)}})}{\overline{Z_{V1309(1)}} + (\overline{Z_{V1310(1)}} + \overline{Z_{V5536(1)}} + \overline{Z_{V1311(1)}})} = \quad (7.45)$$

$$= j \cdot 4,2565 + j \cdot 5,2717 + \frac{(0,7010 + j \cdot 2,2810) \cdot (7,5340 + j \cdot 24,2170)}{(0,7010 + j \cdot 2,2810) + (7,5340 + j \cdot 24,2170)} =$$

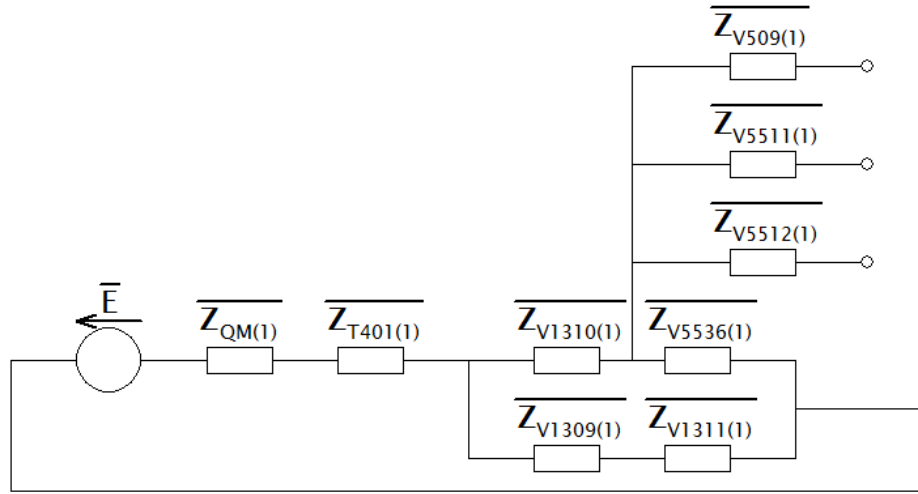
$$= (0,6413 + j \cdot 11,6128) \Omega$$

$$|Z_{celk(1)}| = \sqrt{0,6413^2 + 11,6128^2} = 11,6305 \quad (7.46)$$

Počáteční rázový třífázový zkratový proud:

$$I_{k3f}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{celk(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 11,6305} = 6,0066 \text{ kA} \quad (7.47)$$

7.5 Výpočet 3f zkratu v rozvodně Žďas



Obrázek 7.4 Náhradní schéma pro třífázový zkrat v rozvodně Žďas

Celková sousledná složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z}_{celk(1)} = \overline{Z}_{QM(1)} + \overline{Z}_{T401(1)} + \frac{(\overline{Z}_{V1310(1)} + \overline{Z}_{V5536(1)}) \cdot (\overline{Z}_{V1309(1)} + \overline{Z}_{V1311(1)})}{(\overline{Z}_{V1310(1)} + \overline{Z}_{V5536(1)}) + (\overline{Z}_{V1309(1)} + \overline{Z}_{V1311(1)})} = \quad (7.48)$$

$$= j \cdot 4,2565 + j \cdot 5,2717 + \frac{(4,3180 + j \cdot 13,8150) \cdot (3,9170 + j \cdot 12,6830)}{(4,3180 + j \cdot 13,8150) + (3,9170 + j \cdot 12,6830)} =$$

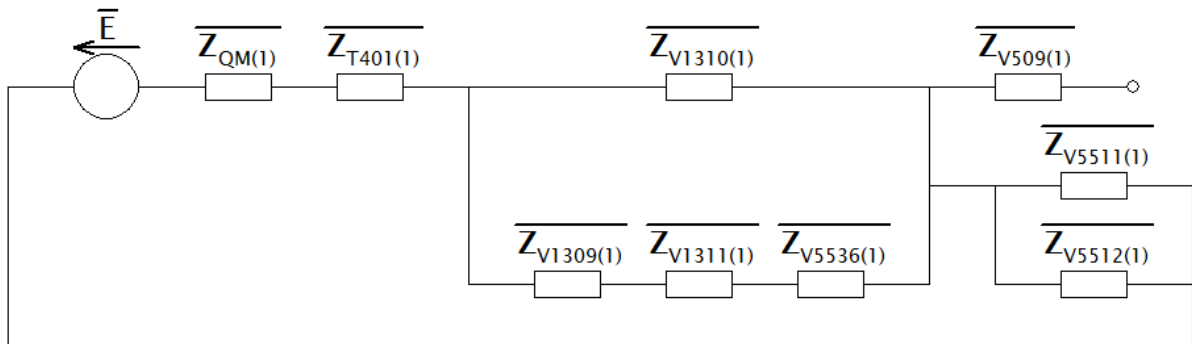
$$= (2,0539 + j \cdot 16,1406) \Omega$$

$$|Z_{celk(1)}| = \sqrt{2,0539^2 + 16,1406^2} = 16,2708 \Omega \quad (7.49)$$

Počáteční rázový třífázový zkratový proud:

$$I_{k3f}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{celk(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 16,2708} = 4,2935 \text{ kA} \quad (7.50)$$

7.6 Výpočet 3f zkratu v rozvodně OVD



Obrázek 7.5 Náhradní schéma pro třífázový zkrat v rozvodně OVD

Celková sousledná složka zkratové impedance vedení:

$$\overline{Z_{Celk(1)}} = \overline{Z_{QM(1)}} + \overline{Z_{T401(1)}} + \frac{\overline{Z_{V1310(1)}} \cdot (\overline{Z_{V1309;1311;5536(1)}})}{\overline{Z_{V1310(1)}} + (\overline{Z_{V1309;1311;5536(1)}})} + \frac{\overline{Z_{V5511(1)}}}{2} \quad (7.51)$$

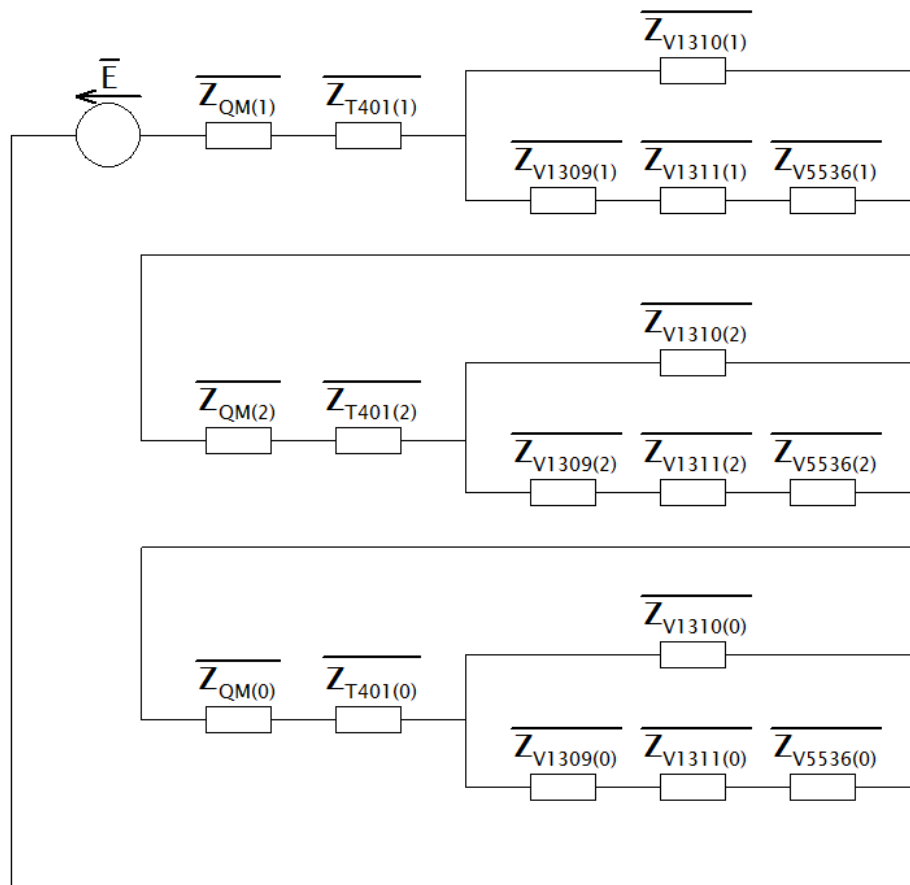
$$= j \cdot 4,2565 + j \cdot 5,2717 + \frac{(3,9470 + j \cdot 12,8520) \cdot (4,2880 + j \cdot 13,6460)}{(3,9470 + j \cdot 12,8520) + (4,2880 + j \cdot 13,6460)} + \frac{(0,9810 + j \cdot 2,5320)}{2} = (2,5460 + j \cdot 17,4128) \Omega$$

$$|Z_{Celk(1)}| = \sqrt{2,5460^2 + 17,4128^2} = 17,5979 \Omega \quad (7.52)$$

Počáteční rázový třífázový zkratový proud:

$$I_{k3f}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{Celk(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 17,5979} = 3,9698 \text{ kA} \quad (7.53)$$

7.7 Výpočet 1f zkratu v rozvodně Žďár nad Sázavou



Obrázek 7.6 Náhradní schéma pro jednofázový zkrat v rozvodně Žďár nad Sázavou (z důvodu lepší přehlednosti schématu, nejsou znázorněny vedení jimiž zkratový proud neprotéká)

Jelikož je sousledná složka zkratové impedance již určena v rovnici (7.42) a zároveň platí $\overline{Z}_{Celk(1)} = \overline{Z}_{Celk(2)}$, pro výpočet počátečního jednofázového zkratového proudu dostačuje již určit pouze netočivou složku zkratové impedance:

$$\overline{Z}_{Celk(0)} = \overline{Z}_{QM(0)} + \overline{Z}_{T401(0)} + \frac{\overline{Z}_{V1310(0)} \cdot (\overline{Z}_{V1309(0)} + \overline{Z}_{V1311(0)} + \overline{Z}_{V5536(0)})}{\overline{Z}_{V1310(0)} + (\overline{Z}_{V1309(0)} + \overline{Z}_{V1311(0)} + \overline{Z}_{V5536(0)})} = \quad (7.54)$$

$$= j \cdot 6,8964 + j \cdot 4,3998 + \frac{(7,7756 + j \cdot 33,9293) \cdot (8,3921 + j \cdot 36,5551)}{(7,7756 + j \cdot 33,9293) + (8,3921 + j \cdot 36,5551)} =$$

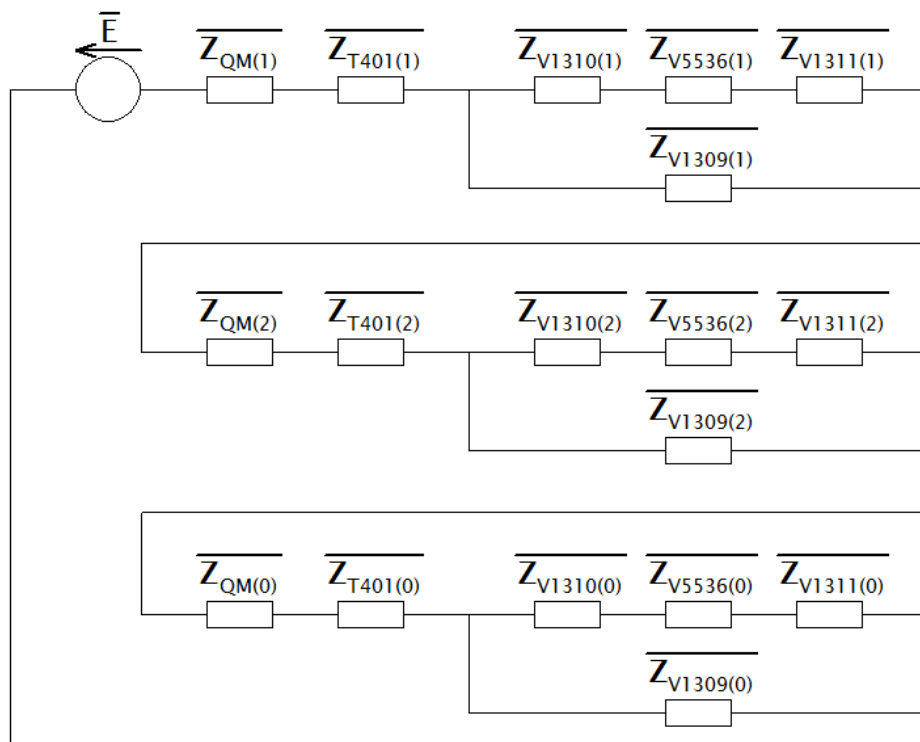
$$= (4,0361 + j \cdot 28,8928) \Omega$$

$$|Z_{Celk(0)}| = \sqrt{4,0361^2 + 28,8928^2} = 29,1734 \Omega \quad (7.55)$$

Počáteční rázový jednofázový zkratový proud:

$$I_{k1f}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{2 \cdot |Z_{Celk(1)}| + |Z_{Celk(0)}|} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 16,2771 + 29,1734} = 3,3952 \text{ kA} \quad (7.56)$$

7.8 Výpočet 1f zkratu v rozvodně Šlapánov



Obrázek 7.7 Náhradní schéma pro jednofázový zkrat v rozvodně Šlapánov (z důvodu lepší přehlednosti schématu, nejsou znázorněny vedení jimiž zkratový proud neprotéká)

Jelikož je sousledná složka zkratové impedance již určena v rovnici (7.45) a zároveň platí $\overline{Z}_{VCelk(1)} = \overline{Z}_{VCelk(2)}$, pro výpočet počátečního jednofázového zkratového proudu dostačuje již určit pouze netočivou složku zkratové impedance:

$$\overline{Z_{Celk(0)}} = \overline{Z_{QM(0)}} + \overline{Z_{T401(0)}} + \frac{\overline{Z_{V1309(0)}} \cdot (\overline{Z_{V1310(0)}} + \overline{Z_{V1311(0)}} + \overline{Z_{V5536(0)}})}{\overline{Z_{V1309(0)}} + (\overline{Z_{V1310(0)}} + \overline{Z_{V1311(0)}} + \overline{Z_{V5536(0)}})} = \quad (7.57)$$

$$= j \cdot 6,8964 + j \cdot 4,3998 + \frac{(1,3801 + j \cdot 6,0218) \cdot (14,7576 + j \cdot 64,4626)}{(1,3801 + j \cdot 6,0218) + (14,7876 + j \cdot 64,4626)} =$$

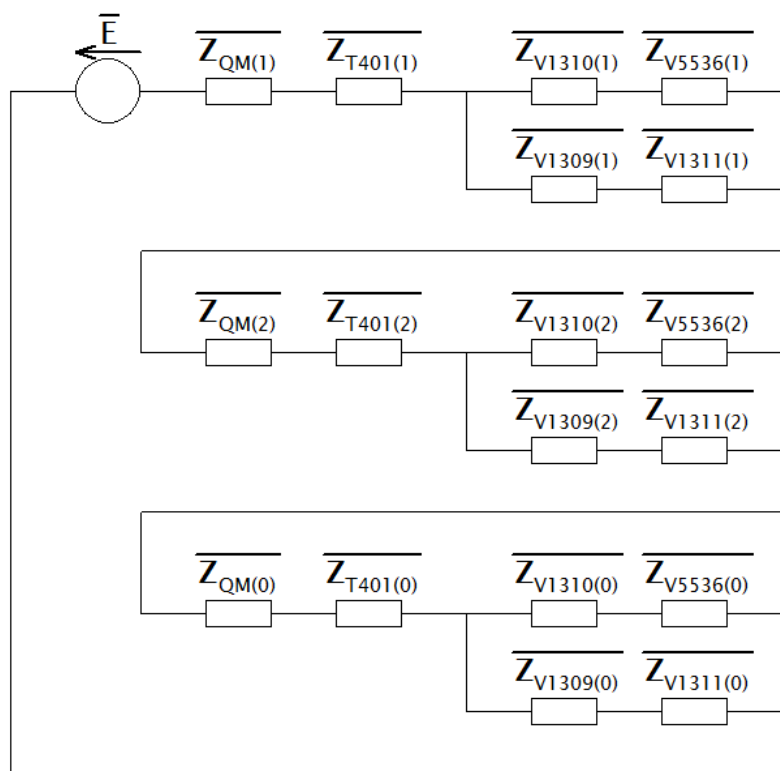
$$= (1,2623 + j \cdot 16,8035) \Omega$$

$$|Z_{Celk(0)}| = \sqrt{1,2623^2 + 16,8035^2} = 16,8509 \Omega \quad (7.58)$$

Počáteční rázový jednofázový zkratový proud:

$$I_{k1f}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{2 \cdot |Z_{Celk(1)}| + |Z_{Celk(0)}|} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 11,6305 + 16,8509} = 5,2248 \text{ kA} \quad (7.59)$$

7.9 Výpočet 1f zkratu v rozvodně Žďas



Obrázek 7.8 Náhradní schéma pro jednofázový zkrat v rozvodně Žďas (z důvodu lepší přehlednosti schématu, nejsou znázorněny vedení jimiž zkratový proud neprotéká)

Jelikož je sousledná složka zkratové impedance již určena v rovnici (7.48) a zároveň platí $\overline{Z_{Celk(1)}} = \overline{Z_{Celk(2)}}$, pro výpočet počátečního jednofázového zkratového proudu dostačuje již určit pouze netočivou složku zkratové impedance:

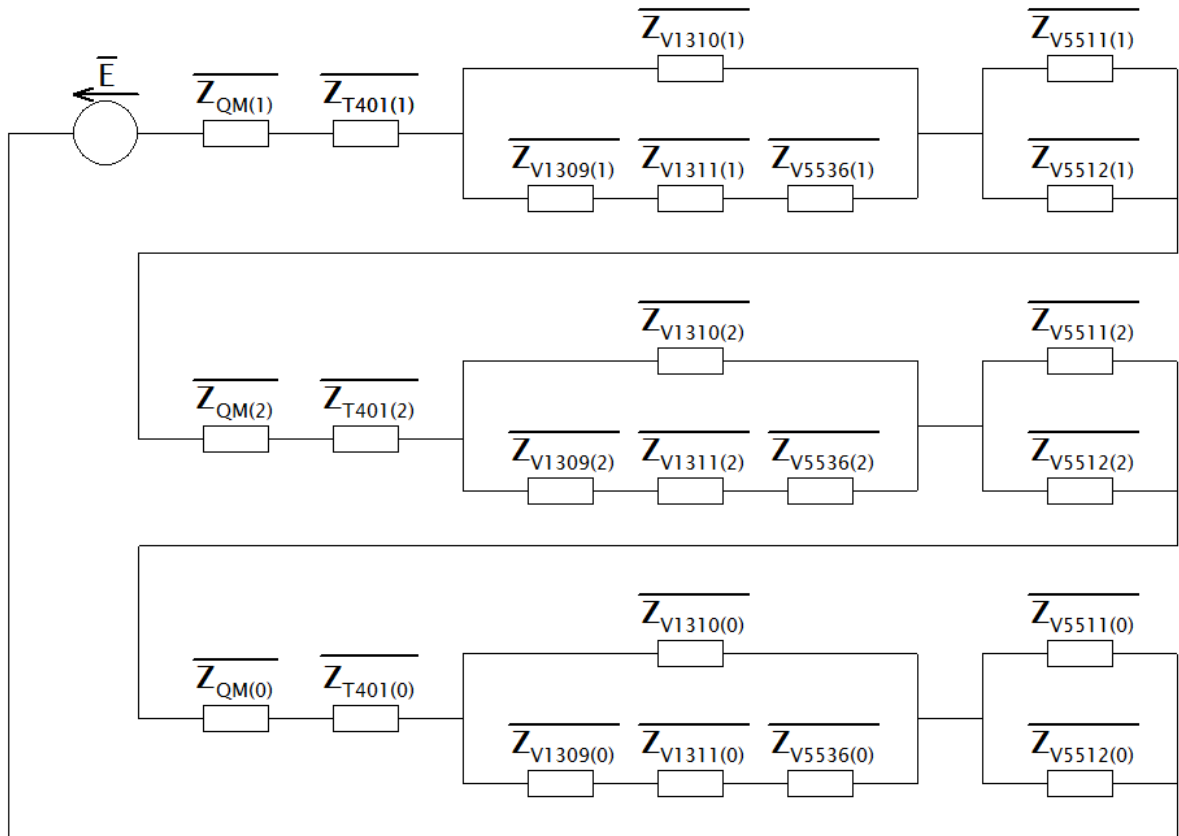
$$\overline{Z_{Celk(0)}} = \overline{Z_{QM(0)}} + \overline{Z_{T401(0)}} + \frac{(\overline{Z_{V5536(0)}} + \overline{Z_{V1310(0)}}) \cdot (\overline{Z_{V1311(0)}} + \overline{Z_{V1309(0)}})}{(\overline{Z_{V5536(0)}} + \overline{Z_{V1310(0)}}) + (\overline{Z_{V1311(0)}} + \overline{Z_{V1309(0)}})} = \quad (7.60)$$

$$\begin{aligned}
 &= j \cdot 6,8964 + j \cdot 4,3998 + \frac{(8,4842 + j \cdot 37,0013) \cdot (7,6835 + j \cdot 33,4831)}{(8,4842 + j \cdot 37,0013) + (7,6835 + j \cdot 33,4831)} = \\
 &= (4,0189 + j \cdot 28,8734) \Omega \\
 |Z_{Celk(0)}| &= \sqrt{4,0189^2 + 28,8734^2} = 29,1517 \Omega
 \end{aligned} \tag{7.61}$$

Počáteční rázový jednofázový zkratový proud:

$$I_{k1f}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{2 \cdot |Z_{Celk(1)}| + |Z_{VCelk(0)}|} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 16,2708 + 29,1517} = 3,3971 \text{ kA} \tag{7.62}$$

7.10 Výpočet 1f zkratu v rozvodně OVD



Obrázek 7.9 Náhradní schéma pro jednofázový zkrat v rozvodně OVD (z důvodu lepší přehlednosti schématu, nejsou znázorněny vedení jimiž zkratový proud neprotéká)

Jelikož je sousledná složka zkratové impedance již určena v rovnici (7.51) a zároveň platí $\overline{Z_{Celk(1)}} = \overline{Z_{Celk(2)}}$, pro výpočet počátečního jednofázového zkratového proudu dostačuje již určit pouze netočivou složku zkratové impedance:

$$\overline{Z_{Celk(0)}} = \overline{Z_{QM(0)}} + \overline{Z_{T401(0)}} + \frac{\overline{Z_{V1310(0)}} \cdot (\overline{Z_{V1309;V1311;V5536(0)}})}{\overline{Z_{V1310(0)}} + (\overline{Z_{V1309;V1311;V5536(0)}})} + \frac{(\overline{Z_{V5511(0)}})}{2} = \tag{7.63}$$

$$= j \cdot 6,8964 + j \cdot 4,3998 + \frac{(3,9470 + j \cdot 12,8520) \cdot (4,2880 + j \cdot 13,6460)}{(3,9470 + j \cdot 12,8520) + (4,2880 + j \cdot 13,6460)} + \frac{(2,3348 + j \cdot 8,6034)}{2} = (5,2035 + j \cdot 33,1945) \Omega$$

$$|Z_{Cek(0)}| = \sqrt{5,2035^2 + 33,1945^2} = 33,5999 \Omega \quad (7.64)$$

Počáteční rázový jednofázový zkratový proud:

$$I_{k1f}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{2 \cdot |Z_{Cek(1)}| + |Z_{Cek(0)}|} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 17,5979 + 33,5999} = 3,0464 \text{ kA} \quad (7.65)$$

7.11 Shrnutí vypočtených zkratových proudů

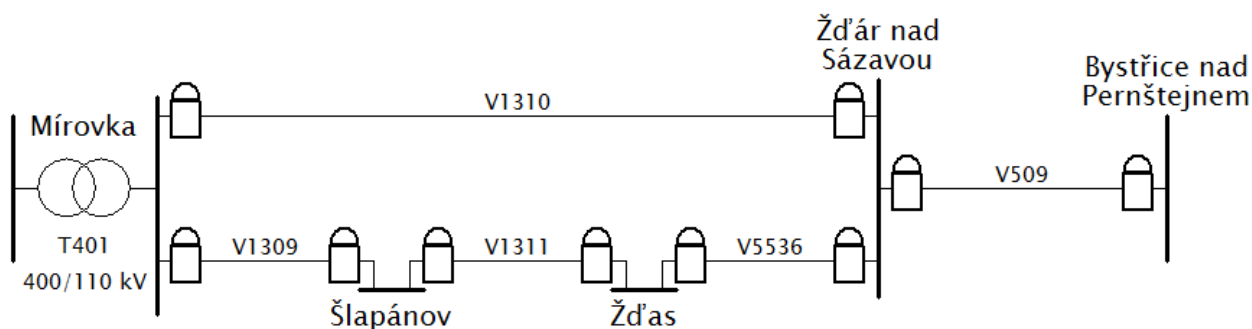
V následující tabulce jsou shrnuty jednofázové a třífázové počáteční rázové zkratové proudy v rozvodnách Žďár nad Sázavou, Šlapánov, Žďas a OVD.

Zkrat v rozvodně	Typ zkratu	I_k'' [kA]
Žďár nad Sázavou	jednofázový	3,3952
	třífázový	4,2919
Šlapánov	jednofázový	5,2248
	třífázový	6,0066
Žďas	jednofázový	3,3971
	třífázový	4,2935
OVD	jednofázový	3,0464
	třífázový	3,9698

Tabulka 7.1 Shrnutí vypočtených počátečních rázových zkratových proudů

8 NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN

Na *obrázku 8.1* je zobrazena část sítě patřící společnosti E.ON, na které bude proveden výpočet nastavení distančních ochran a to konkrétně na vedeních V1309, V1310, V1311, V5536, 509 a dále také na transformátoru T401 v rozvodně Mírovka. Společnost E.ON na těchto vedeních používá distanční ochrany od společnosti Siemens typu SIPROTEC 7SA511, z tohoto důvodu bude nastavení realizováno pro tento typ distančních ochran.



Obrázek 8.1 Schéma sítě včetně umístění distančních ochran

8.1 Výpočet nastavení distanční ochrany

Výpočet primárního nastavení bude proveden pro pět zón a to konkrétně pro 1. zónu, 2. zónu, 3. zónu, zónu opětovného zapnutí (dále jen OZ) a zónu popudu, dále by bylo potřeba provést přepočítání z primárního nastavení na nastavení sekundární, které se od nastavení primárního liší koeficientem k_2 . Koeficient k_2 je určen pomocí rozsahů měřících transformátorů proudu (MTI) a napětí (MTU) podle vztahu:

$$k_2 = \frac{\frac{MTI_p}{MTI_s} \cdot MTU_p}{MTU_s} \quad (-; A, A, kV, kV, A) \quad (8.1)$$

kde: MTI_p - rozsah primární strany měřícího transformátoru proudu.

MTI_s - rozsah sekundární strany měřícího transformátoru proudu.

MTU_p - rozsah primární strany měřícího transformátoru napětí.

MTU_s - rozsah sekundární strany měřícího transformátoru napětí.

Již zmíněné rozsahy měřících transformátorů jsou uvedeny v *Tabulce 8.1*.

MTI		MTU		k_2 [-]
Primární [A]	Sekundární [A]	Primární [kV]	Sekundární [V]	
600	1	110	100	0,5455

Tabulka 8.1 Rozsahy daných měřících transformátorů proudu a napětí

Ovšem vzhledem k faktu, že distanční ochrana SIPROTEC 7SA511 má schopnost přepočtu primárních parametru na sekundární, není potřeba se těmito přepočty dále zabývat. Následující výpočty vychází z parametrů příslušných úseků vedení, které má příslušná distanční ochrana chránit. Všechny potřebné parametry jsou uvedeny v kapitole 7.2.3.

Distanční ochrana SIPROTEC 7SA511 také umožňuje nastavení až čtyř různých na sobě nezávislých skupin, tuto možnost lze využít v případě, že je dané vedení možno provozovat více různými způsoby. Pro zabezpečení části sítě na Obrázku 8.1, však postačí nastavit pouze jednu skupinu a ostatní nechat vypnuty.

Vzorový výpočet nastavení jednotlivých zón, který je popsán v následujících pěti podkapitolách je obdobný pro všechny distanční ochrany zobrazené na Obrázku 8.1, z toho důvodu jsou nastavení zbylých distančních ochran uvedeny bez dalších podrobností v příloze A.

8.1.1 Výpočet nastavení první zóny distanční ochrany na vedení V1309 v rozvodně Mírovka

V první zóně se nenastavuje žádné zpoždění $t_1 = 0$ s, což v důsledku znamená, že ochrana působí cirká 100 ms po zjištění poruchy. Toto zpoždění je způsobeno elektromechanickými (vypínač, vybavovací relé atd.) součástmi nutnými pro fyzické vypnutí chráněného vedení.

První zóna distanční ochrany se nastavuje tak, aby chránila pouze 90 % (což odpovídá koeficientu $k = 0,9$) vedení V1309, toto opatření zajistí správnou selektivitu distanční ochrany i v případě chybně změřené impedance chráněného vedení. Dále je potřeba uvažovat z odporem poruchy $R_p = 20 \Omega$, který je stejný pro jednofázový i třífázový zkrat.

Parametr	Nastavení				k = 0,9
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 1 operation	On				Distanční ochranná zóna 1 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	2,0529				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R₁ [Ω]	20,6309				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - fáze
X₀ [Ω]	5,4197				Netočivá složka reaktance zóna 1
R₀ [Ω]	40,6429				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	20,6309				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - zem
t₁ [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny 1

Tabulka 8.2 Parametry nastavení první zóny distanční ochrany

8.1.1.1 Příklad výpočtu hodnot pro nastavení první zóny distanční ochrany

Tento postup výpočtu je obdobný i pro ostatní zóny distanční ochrany (mění se pouze hodnota koeficientu k a poměry $\frac{X_0}{X_1}$, $\frac{R_0}{R_1}$), proto již tento postup nebude uveden v dalších podkapitolách zabývajících se nastavením ostatních zón.

$$X_1 = X \cdot k = 0,7010 \cdot 0,9 = 2,0529 \, \Omega \quad (8.2)$$

$$R_1 = R \cdot k + R_p = 3,2160 \cdot 0,9 + 20 = 20,6309 \, \Omega \quad (8.3)$$

$$X_0 = X_1 \cdot \frac{X_0}{X_1} = 2,0529 \cdot 2,64 = 5,4197 \, \Omega \quad (8.4)$$

$$R_0 = R_1 \cdot \frac{R_0}{R_1} = 20,6309 \cdot 1,97 = 40,6429 \, \Omega \quad (8.5)$$

$$R_{1E} = R \cdot k + R_p = 0,7010 \cdot 0,9 + 20 = 20,6309 \, \Omega \quad (8.6)$$

8.1.2 Výpočet nastavení druhé zóny distanční ochrany na vedení V1309 v rozvodně Mírovka

Druhá zóna distanční ochrany se nastavuje tak aby chránila celé vedení V1309 a část vedení následujícího, proto je tedy celková impedance chráněného úseku nastavena na 130 % impedance vedení V1309 ($k = 1,3$). Na rozdíl od první zóny se však v druhé zóně již nastavuje časové zpoždění, které má hodnotu $t_2 = 0,4$ s a to z důvodů správné selektivity, aby v případě poruchy na začátku vedení V1311 stihla dříve zapůsobit příslušná ochrana a nedošlo tak ke zbytečnému vypnutí vedení V1309.

Parametr	Nastavení				k = 1,3
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 2 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 2 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	2,9653				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R₁ [Ω]	20,9113				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - fáze
X₀ [Ω]	7,8291				Netočivá složka reaktance zóna 2
R₀ [Ω]	41,0888				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	20,9113				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - zem
t₂ [s]	0,4000				Časové zpoždění zóny 2

Tabulka 8.3 Parametry nastavení druhé zóny distanční ochrany

8.1.3 Výpočet nastavení třetí zóny distanční ochrany na vedení V1309 v rozvodně Mírovka

Třetí zónu distanční ochrany je potřeba nastavit tak, aby chránila celé vedení V1309 a zároveň minimálně celé následující vedení V1311 (V případě, že by z rozvodny Šlapánov bylo vyvedeno více vedení o napěťové hladině 110 kV, bylo by potřeba ochranu nastavit tak, aby chránila celé nejdelší vyvedené vedení z rozvodny), což je po jednoduchém výpočtu cirká 560 % impedance vedení V1309 ($k = 5,6$).

Z důvodu správné selektivity pro časové zpoždění platí, že jeho hodnota musí být vyšší minimálně o 100 až 200 ms než je hodnota časového zpoždění třetí zóny distanční ochrany na nejbližším následujícím vedení (v tomto případě vedení V1311), z toho důvodu je zvoleno časové zpoždění $t_3 = 1,6$ s.

Parametr	Nastavení				$k = 5,6$
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 3 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 3 aktivace / deaktivace zóny
X_1 [Ω]	12,7736				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R_1 [Ω]	23,9256				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - fáze
X_0 [Ω]	33,7255				Netočivá složka reaktance zóna 3
R_0 [Ω]	47,0116				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	23,9256				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - zem
t_3 [s]	1,6000				Časové zpoždění zóny 3

Tabulka 8.4 Parametry nastavení třetí zóny distanční ochrany

8.1.4 Výpočet nastavení zóny opětovného zapnutí distanční ochrany na vedení V1309 v rozvodně Mírovka

Vzhledem k faktu že, nejčastěji se vyskytující poruchy na vedení jsou ve své podstatě krátkodobého charakteru, je zóna opětovného zapnutí velice důležitá z hlediska spolehlivosti dodávky elektrické energie.

Mezi krátkodobé poruchy patří například snížení elektrické pevnosti na izolátoru vlivem jeho zaprášení (obvykle k tomuto jevu dochází v době žní) a následného navlhnutí během deštivého počasí, kdy díky souhře těchto okolností může posléze dojít k vytvoření vodivé cesty a následně k přeskoce elektrického výboje na stožár, čímž dojde k vzniku jednofázového zkratu.

V případě, že je na vedení nastaven jednofázový OZ (případně 3+1 OZ což je ve své podstatě kombinace jednofázového a třífázového OZ), dojde k vypnutí pouze jediné postižené fáze vedení a po čase cirká 400 ms k jejímu opětovnému zapnutí.

Během této doby obvykle dojde vlivem tepla vzniklého průchodem zkratového proudu vzniklou vodivou cestou, k jejímu vysušení či vypaření a tím k navrácení původní elektrické pevnosti daného izolátoru. Po opětovném zapnutí postižené fáze, již obvykle není porucha zjištěna a vedení je dále provozováno běžným způsobem.

V tomto případě je navíc výhodou, že dojde k vypnutí pouze jediné fáze daného vedení, což je výhodné jak pro konečné odběratele, kteří takovouto poruchu téměř nezpůsobují, tak pro provoz například velkých synchronních strojů, které zbylé dvě fungující fáze udrží v synchronním stavu a díky tomu je následně není potřeba složitě zapojovat zpět do sítě. Jedinou nevýhodou jednofázového OZ je skutečnost, že při mezifázovém zkratu dojde k definitivnímu vypnutí (pro trojfázový OZ platí obdobný problém, kdy po zjištění jednofázového zkratu již nedochází k opětovnému zapnutí), ovšem většina mezifázových zkratů stejně nebývá krátkodobého charakteru.

Další variantou je tzv. 3+1 OZ, kdy při mezifázovém zkratu se vypnou všechny fáze na již zmíněných 400 ms a v případě jednofázového zkratu se vypne pouze postižená fáze.

Pro úsek vedení řešený v této práci bude nastavován jednofázový OZ, přičemž se zpravidla nastavuje tak aby chránil obdobnou případně o kousek větší část vedení impedance vedení jako druhá zóna distanční ochrany.

Parametr	Nastavení				Druh OZ: 1 $k = 1,3$
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna OZ operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna OZ aktivace / deaktivace zóny
X_1 [Ω]	2,9653				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ
R_1 [Ω]	20,9113				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - fáze
X_0 [Ω]	7,8291				Netočivá složka reaktance zóna OZ
R_0 [Ω]	41,0888				Netočivá složka odporu zóna OZ
R_{1E} [Ω]	20,9113				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - zem
t_{oz} [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny OZ

Tabulka 8.5 Parametry nastavení zóny opětovného zapnutí distanční ochrany

8.1.5 Výpočet nastavení zóny popudu distanční ochrany na vedení V1309 v rozvodně Mírovka

Nastavení zóny popudu distanční ochrany nevychází z žádných konkrétních výpočtů, ale pouze z vhodného nastavení jednotlivých členů, jež jsou uvedeny v *Tabulce 8.6*.

Parametr	Nastavení				Popis popud
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	
operation	On	Off	Off	Off	Pod-impedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	150,0000				sousledná složka reaktance dopředný směr
RA1 [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - fáze
R [Ω]	90,0000				R popud fáze - fáze
RA1E [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - zem
RE [Ω]	90,0000				R popud fáze - zem
Ph alfa [°]	45,0000				úhel bezpečné zátěže
t₄ [s]	3,0000				časové zpoždění - dopředné

Tabulka 8.6 Parametry nastavení popudu zapnutí distanční ochrany

8.1.6 Nastavení distanční ochrany transformátoru T401 v rozvodně Mírovka

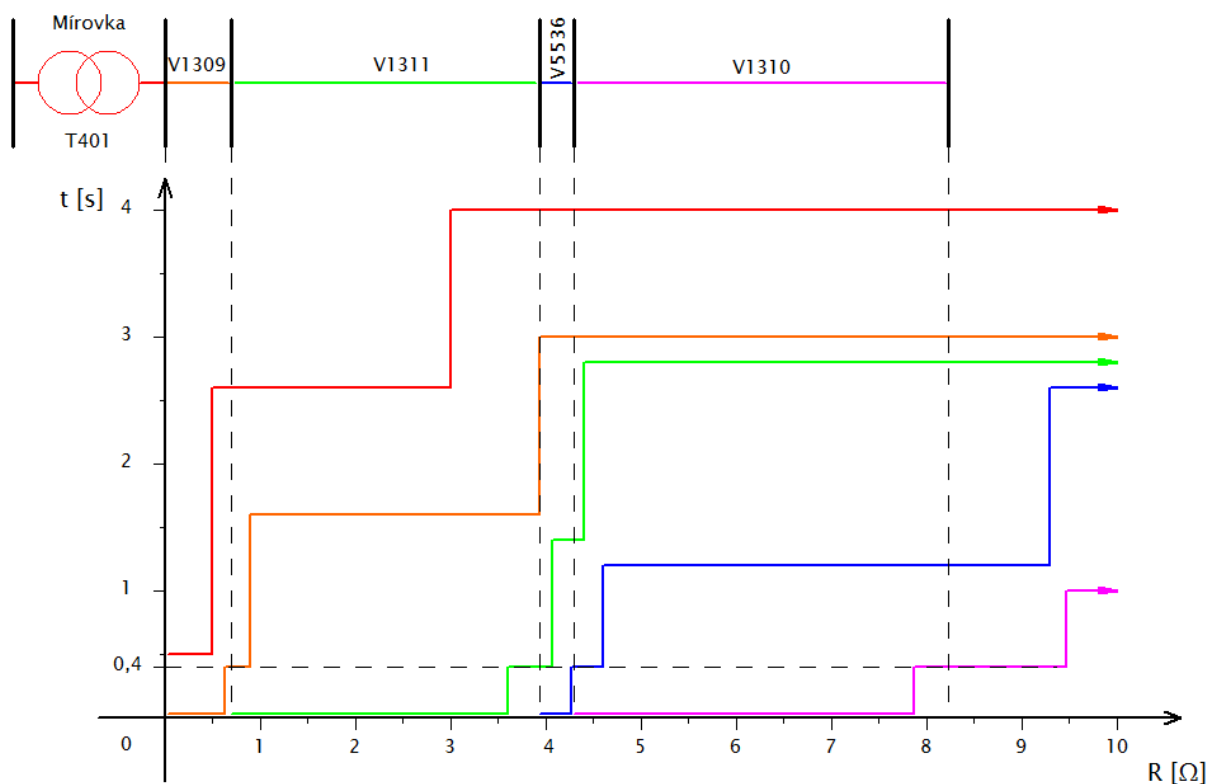
Primární nastavení	první zóna	druhá zóna	třetí zóna
t [s]	0,50	2,60	4,00
R [Ω]	0,50	3,00	10,00
X [Ω]	1,00	10,00	32,00
Z [Ω]	1,12	10,44	33,53

Tabulka 8.7 Parametry nastavení distanční ochrany transformátoru T401

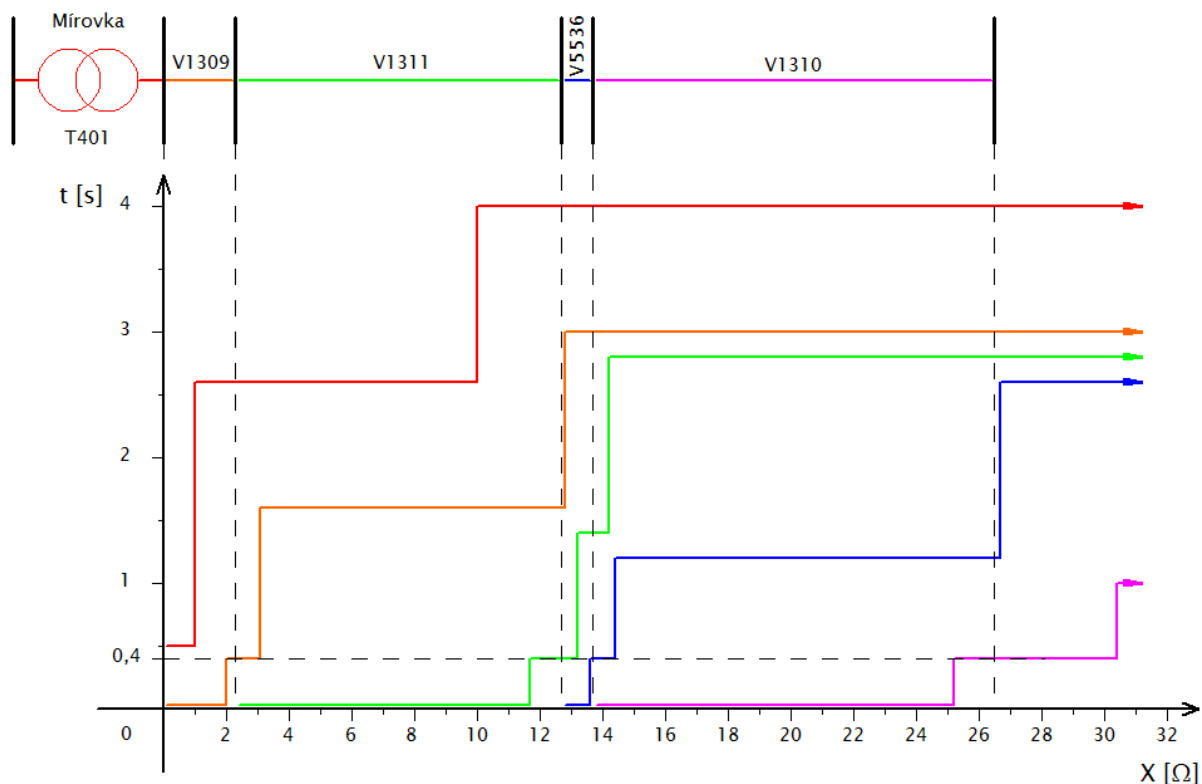
8.2 Kontrola selektivity distančních ochran

Pouhý výpočet parametrů pro jednotlivé zóny distančních ochran, nestačí pro jejich správné nastavení. Je potřeba provést navíc ještě kontrolu selektivity, což znamená, že v žádné části chráněné sítě nesmí dojít k překrývání vypínacích charakteristik. Tato podmínka zaručí, že ochrana vypne pouze vedení, na kterém je porucha. V případě, že nejbližší ochrana selže, vedení vypíná s časovým zpožděním ochrana záložní, která ovšem vypíná nejen postižené vedení, ale i vedení, které chrání v základním čase.

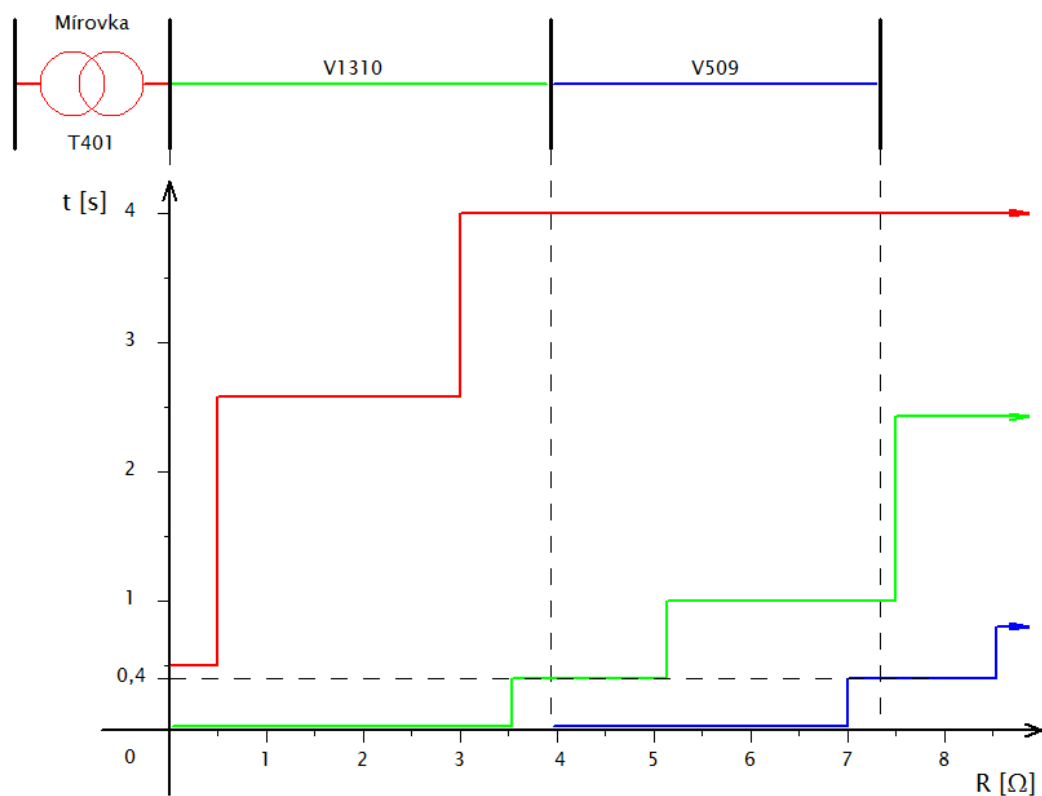
Na *Obrázcích 8.2 až 8.7* jsou zobrazeny vypínací charakteristiky distančních ochran na jednotlivých vedeních a transformátoru T401 v rozvodně Mírovka, při jejich konstrukci nebyl uvažován odpor poruchy, protože ten nemá na průběh charakteristik žádný dopad (došlo by pouze k posunutí charakteristik na *Obrázcích 8.2 a 8.5* na ose x o $20\ \Omega$).



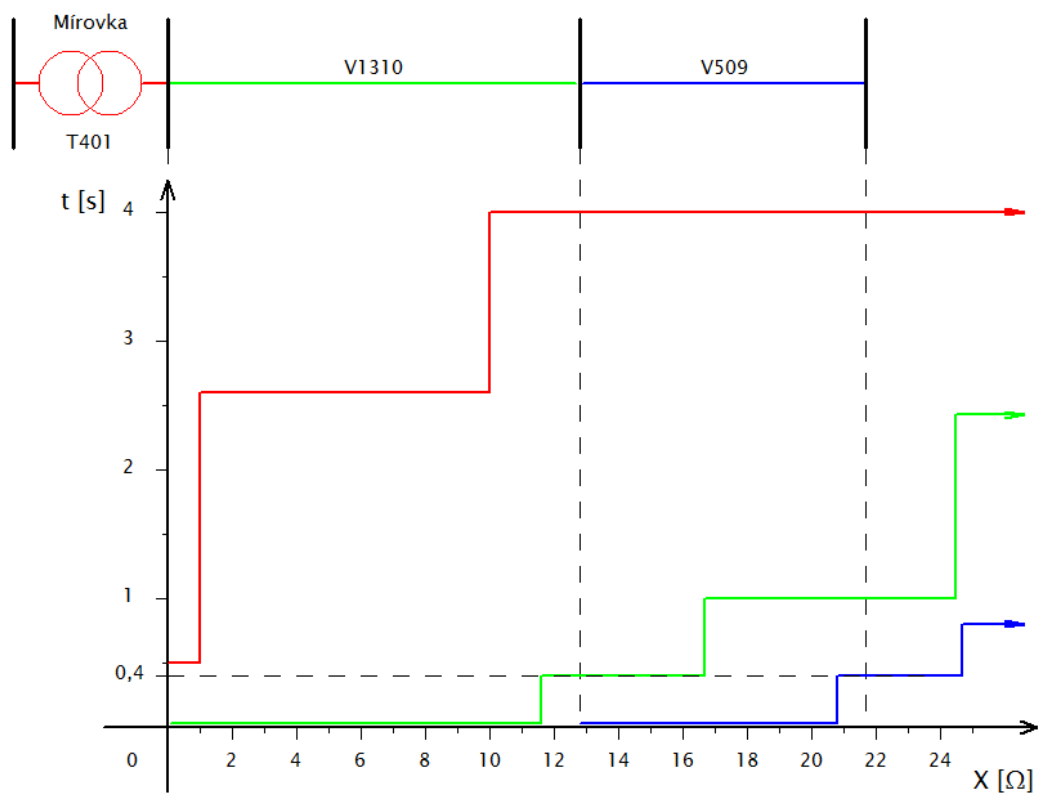
Obrázek 8.2 Vypínací charakteristika distančních ochran na transformátoru Mírovka T401 (strana 110kV směr DS110kV) a na vedeních V1309, V1311, V5536, V1310 pro rezistanci



Obrázek 8.3 Vypínací charakteristika distančních ochran na transformátoru Mirovka T401 (strana 110kV směr DS110kV) a na vedeních V1309, V1311, V5536, V1310 pro reaktanci



Obrázek 8.4 Vypínací charakteristika distančních ochran na transformátoru Mirovka T401 a na vedení V1310 a V509 pro rezistanci



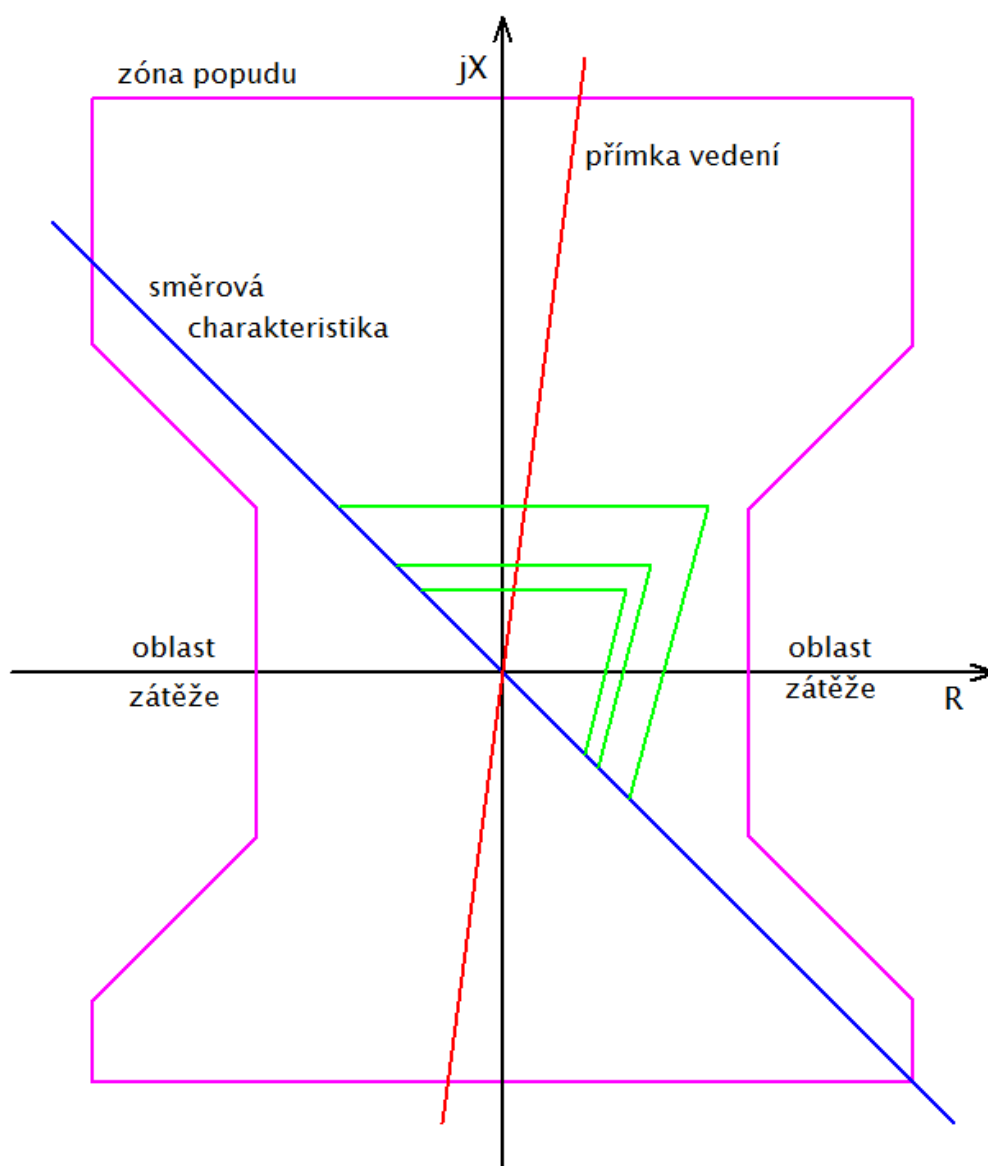
Obrázek 8.5 Vypínací charakteristika distančních ochran na transformátoru Mirovka T401 a na vedení V1310 a V509 pro reaktanci

8.3 Pracovní polygon distanční ochrany

Polygonální charakteristika distanční ochrany slouží ke zpřehlednění zobrazení všech zón včetně popudu ochrany v závislosti na přímce vedení a oblasti zátěže. Na polygonu zobrazeném na *Obrázku 8.8* jsou přímka vedení i směrová charakteristika zakresleny pouze teoreticky, dále také 2. zóna splývá se zónou OZ ochrany a to z důvodu malého nebo žádného rozdílu mezi nastavovanými hodnotami.

V praxi je pozice směrové charakteristiky závislá na toku provozního proudu před vznikem poruchy a impedanci zdroje.

Dále slouží pracovní polygon ke kontrole směřování distančních ochran do vedení, v případě špatného směřování by docházelo ke zpožděnému (až v zóně popudu) a neselektivnímu vypínání.



Obrázek 8.6 Příklad polygonální charakteristiky distanční ochrany SIPROTEC 7SA511

— zóny 1,2,3 a OZ

9 ZÁVĚR

První část této práce se stručně zabývá poruchovými stavy, které mohou nastat v elektrizační soustavě. V následující kapitole jsou podrobně rozebrány zkraty, včetně postupu výpočtu zkratových impedancí jednotlivých částí vedení podle aktuálně platné normy ČSN EN 60909-0. Další a zároveň poslední teoretická část této práce se věnuje distančním ochranám, jenž jsou zároveň jejím ústředním tématem. Distanční nebo-li impedanční ochrany patří mezi ochrany stupňovité a pracují na principu kontinuálního porovnávání nastavených parametrů impedance s hodnotami impedance vedení, které dopočítává z naměřených hodnot přístrojových transformátoru

Na teoretickou část práce v následující kapitole navazuje praktický výpočet zkratových poměrů v zadané části sítě 110 kV patřící společnosti E.ON. Při výpočtu jednofázových i třífázových zkratových proudů nebylo počítáno s odporem poruchy. Výsledné zkratové proudy při poruše na rozvodnách Šlapánov, Žďas, OVD a Žďár nad Sázavou jsou shrnuty v tabulce na konci kapitoly. Největší zkratový proud byl spočten v rozvodně Šlapánov a to konkrétně 6,0066 kA pro třífázový a 5,2248 kA pro jednofázový zkrat, důvodem značně vyšších zkratových proudů v rozvodně Šlapánov oproti ostatním rozvodnám, byla zřejmě jeho velmi malá vzdálenost od výstupu z rozvodny Mírovka.

Poslední část práce je věnována výpočtům nastavení jednotlivých distančních ochran na obdobné části sítě, kde byl v předcházející kapitole proveden výpočet zkratových poměrů, z důvodu omezení rozsahu této práce, bylo spočteno nastavení distančních ochran pouze pro případ napájení z rozvodny Mírovka a možnost napájení sítě přes vedení V509 z rozvodny Čebín nebyla uvažována. Výpočty nastavení distančních ochran byly provedeny pro distanční ochranu od firmy Siemens SIPROTEC 7SA511, konkrétně tento typ ochrany byl vybrán, protože provozovatel uvažované části sítě, společnost E.ON používá tyto ochrany standardně na vedeních 110 kV.

Ochrana Siemens SIPROTEC 7SA511 umožňuje nastavení pěti zón, přičemž tři zóny slouží k selektivní ochraně jednotlivých vedení před poruchami, další nastavovanou zónou je zóna opětovného zapnutí nebo-li OZ, tato zóna distanční ochrany je velmi důležitá z hlediska spolehlivosti dodávky elektrické energie, protože při správném nastavení dokáže vyřešit valnou většinu poruch krátkodobého charakteru. Z důvodu přítomnosti dvou velkých synchronních strojů v rozvodně Žďas jsou všechny OZ v řešené části sítě nastaveny jako jednofázové a to, protože v případě poruchy, jednofázová OZ vypíná pouze postiženou fázi vedení a zbylé zdravé fáze udrží tyto stroje v synchronním stavu. Poslední nastavovanou zónou je zóna popudu.

Podrobný výpočet potřebný pro nastavení parametrů distanční ochrany je uveden pouze pro distanční ochranu na vedení V1309 v rozvodně Mírovka, protože pro ochrany na ostatních vedeních je postup výpočtu prakticky totožný (nekomentované nastavení parametru ostatních distančních ochran je uvedeno v **příloze A**). Konec kapitoly se zabývá kontrolou selektivity, která je dobře patrná na vypínacích charakteristikách jednotlivých distančních ochran vedení a také transformátoru T401 v rozvodně Mírovka, dále je zobrazen příklad pracovního polygonu distanční ochrany SIPROTEC 7SA511.

Ve skutečnosti jsou na zadané části sítě přítomny také záložní nadproudové ochrany a u vedeních kratších než 10 km navíc také srovnávací ochrany, ale vzhledem k zadaným cílům práce se nebylo potřeba jimi zabývat podrobněji.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HALUZÍK, WEIDINGER, KRÁTKÝ, Ochrany a jištění energetických zařízení. VUT Brno, 65 stran
- [2] MEŠTER, Výpočet skratových proudů v trojfázových střídavých systémech. ABB Elektro, s.r.o., Bratislava 2005, 94 stran
- [3] JANÍČEK, CHLADNÝ, BELÁŇ, ELESCHOVÁ, Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2004, ISBN 80-227-2135-2, 351 stran
- [4] BLAŽEK, SKALA, Vysoké napětí a elektrické přístroje. VUT Brno, 72 stran
- [5] ORSÁGOVÁ, Rozvodná zařízení. VUT Brno, 148 stran
- [6] BLALŽEK, SKALA, Distribuce elektrické energie. VUT Brno, 138 stran
- [7] ČSN EN 60909-0, Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách, 2002
- [8] PAUZA, Zkrat v elektrických rozvodech. SNTL Praha 1970

PŘÍLOHA A VYPOČTENÉ PARAMETRY PRO NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN

Distanční ochrana v rozvodně Mírovka na vedení V1309

Parametr	Nastavení				k = 0,9
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 1 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 1 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	2,0529				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R₁ [Ω]	20,6309				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - fáze
X₀ [Ω]	5,4197				Netočivá složka reaktance zóna 1
R₀ [Ω]	40,6429				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{IE} [Ω]	20,6309				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - zem
t₁ [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny 1

Parametr	Nastavení				k = 1,3
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 2 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 2 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	2,9653				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R₁ [Ω]	20,9113				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - fáze
X₀ [Ω]	7,8291				Netočivá složka reaktance zóna 2
R₀ [Ω]	41,0888				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{IE} [Ω]	20,9113				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - zem
t₂ [s]	0,4000				Časové zpoždění zóny 2

Parametr	Nastavení				k = 5,6
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 3 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 3 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	12,7736				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R₁ [Ω]	23,9256				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - fáze
X₀ [Ω]	33,7255				Netočivá složka reaktance zóna 3
R₀ [Ω]	47,0116				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	23,9256				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - zem
t₃ [s]	1,6000				Časové zpoždění zóny 3

Parametr	Nastavení				Druh OZ: 1 k = 1,3
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna OZ operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna OZ aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	2,9653				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ
R₁ [Ω]	20,9113				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - fáze
X₀ [Ω]	7,8291				Netočivá složka reaktance zóna OZ
R₀ [Ω]	41,0888				Netočivá složka odporu zóna OZ
R_{1E} [Ω]	20,9113				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - zem
t_{oz} [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny OZ

Parametr	Nastavení				Popis popud
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	
operation	On	Off	Off	Off	Pod-impedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	150,0000				sousledná složka reaktance dopředný směr
RA1 [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - fáze
R [Ω]	90,0000				R popud fáze - fáze
RA1E [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - zem
RE [Ω]	90,0000				R popud fáze - zem
Ph alfa [°]	45,0000				úhel bezpečné zátěže
t₄ [s]	3,0000				časové zpoždění - dopředné

Distanční ochrana v rozvodně Šlapánov na vedení V1311

Parametr	Nastavení				k = 0,9
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 1 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 1 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	9,3616				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R₁ [Ω]	22,8946				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - fáze
X₀ [Ω]	24,7171				Netočivá složka reaktance zóna 1
R₀ [Ω]	44,9858				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	22,8946				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - zem
t₁ [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny 1

Parametr	Nastavení				k = 1,05
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 2 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 2 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	10,9219				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R₁ [Ω]	23,3770				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - fáze
X₀ [Ω]	28,8366				Netočivá složka reaktance zóna 2
R₀ [Ω]	45,9337				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	23,3770				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - zem
t₂ [s]	0,4000				Časové zpoždění zóny 2

Parametr	Nastavení				k = 1,15
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 3 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 3 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	11,9621				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R₁ [Ω]	23,6986				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - fáze
X₀ [Ω]	31,5830				Netočivá složka reaktance zóna 3
R₀ [Ω]	46,5657				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	23,6986				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - zem
t₃ [s]	1,4000				Časové zpoždění zóny 3

Parametr	Nastavení				Druh OZ: 1 $k = 1,05$
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna OZ operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna OZ aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	10,9219				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ
R₁ [Ω]	23,3770				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - fáze
X₀ [Ω]	28,8366				Netočivá složka reaktance zóna OZ
R₀ [Ω]	45,9337				Netočivá složka odporu zóna OZ
R_{1E} [Ω]	23,3770				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - zem
t_{oz} [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny OZ

Parametr	Nastavení				Popis popud
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	
operation	On	Off	Off	Off	Pod-impedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	150,0000				sousledná složka reaktance dopředný směr
RA1 [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - fáze
R [Ω]	90,0000				R popud fáze - fáze
RA1E [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - zem
RE [Ω]	90,0000				R popud fáze - zem
Ph alfa [°]	45,0000				úhel bezpečné zátěže
t₄ [s]	3,0000				časové zpoždění - dopředné

Distanční ochrana v rozvodně Žďas na vedení V5536

Parametr	Nastavení				k = 0,9
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 1 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 1 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	0,8663				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R₁ [Ω]	20,3340				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - fáze
X₀ [Ω]	2,7617				Netočivá složka reaktance zóna 1
R₀ [Ω]	38,8663				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	20,3340				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - zem
t₁ [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny 1

Parametr	Nastavení				k = 1,3
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 2 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 2 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	1,2514				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R₁ [Ω]	20,4825				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - fáze
X₀ [Ω]	3,9891				Netočivá složka reaktance zóna 2
R₀ [Ω]	39,1501				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	20,4825				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - zem
t₂ [s]	0,4000				Časové zpoždění zóny 2

Parametr	Nastavení				k = 14,5
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 3 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 3 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	13,9576				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R₁ [Ω]	25,3813				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - fáze
X₀ [Ω]	44,4937				Netočivá složka reaktance zóna 3
R₀ [Ω]	48,5137				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	25,3813				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - zem
t₃ [s]	1,2000				Časové zpoždění zóny 3

Parametr	Nastavení				Druh OZ: 1 k = 1,3
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna OZ operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna OZ aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	1,2514				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ
R₁ [Ω]	20,4825				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - fáze
X₀ [Ω]	3,9891				Netočivá složka reaktance zóna OZ
R₀ [Ω]	39,1501				Netočivá složka odporu zóna OZ
R_{1E} [Ω]	20,4825				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - zem
t_{oz} [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny OZ

Parametr	Nastavení				Popis popud
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	
operation	On	Off	Off	Off	Pod-impedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	150,0000				sousledná složka reaktance dopředný směr
RA1 [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - fáze
R [Ω]	90,0000				R popud fáze - fáze
RA1E [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - zem
RE [Ω]	90,0000				R popud fáze - zem
Ph alfa [°]	45,0000				úhel bezpečné zátěže
t₄ [s]	3,0000				časové zpoždění - dopředné

Distanční ochrana v rozvodně Mírovka na vedení V1310

Parametr	Nastavení				k = 0,9
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 1 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 1 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	11,5667				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R₁ [Ω]	23,5524				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - fáze
X₀ [Ω]	30,5360				Netočivá složka reaktance zóna 1
R₀ [Ω]	46,3983				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	23,5524				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - zem
t₁ [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny 1

Parametr	Nastavení				k = 1,3
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 2 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 2 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	16,7074				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R₁ [Ω]	25,1313				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - fáze
X₀ [Ω]	44,1075				Netočivá složka reaktance zóna 2
R₀ [Ω]	49,5086				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	25,1313				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - zem
t₂ [s]	0,4000				Časové zpoždění zóny 2

Parametr	Nastavení				k = 1,9
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 3 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 3 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	24,4185				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R₁ [Ω]	27,4995				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - fáze
X₀ [Ω]	64,4648				Netočivá složka reaktance zóna 3
R₀ [Ω]	54,1741				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	27,4995				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - zem
t₃ [s]	1,0000				Časové zpoždění zóny 3

Parametr	Nastavení				Druh OZ: 1 k = 1,3
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna OZ operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna OZ aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	16,7074				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ
R₁ [Ω]	25,1313				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - fáze
X₀ [Ω]	44,1075				Netočivá složka reaktance zóna OZ
R₀ [Ω]	49,5086				Netočivá složka odporu zóna OZ
R_{1E} [Ω]	25,1313				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - zem
t_{oz} [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny OZ

Parametr	Nastavení				Popis popud
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	
operation	On	Off	Off	Off	Pod-impedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	150,0000				sousledná složka reaktance dopředný směr
RA1 [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - fáze
R [Ω]	90,0000				R popud fáze - fáze
RA1E [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - zem
RE [Ω]	90,0000				R popud fáze - zem
Ph alfa [°]	45,0000				úhel bezpečné zátěže
t₄ [s]	3,0000				časové zpoždění - dopředné

Distanční ochrana v rozvodně Žďár nad Sázavou na vedení V509

Parametr	Nastavení				k = 0,9
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 1 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 1 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	7,9606				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R₁ [Ω]	23,0588				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - fáze
X₀ [Ω]	21,3344				Netočivá složka reaktance zóna 1
R₀ [Ω]	41,9669				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	23,0588				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - zem
t₁ [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny 1

Parametr	Nastavení				k = 1,35
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 2 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 2 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	11,9409				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R₁ [Ω]	24,5881				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - fáze
X₀ [Ω]	32,0016				Netočivá složka reaktance zóna 2
R₀ [Ω]	44,7504				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	24,5881				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - zem
t₂ [s]	0,4000				Časové zpoždění zóny 2

Parametr	Nastavení				k = 2,4
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 3 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 3 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	21,2283				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R₁ [Ω]	28,1567				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - fáze
X₀ [Ω]	56,8918				Netočivá složka reaktance zóna 3
R₀ [Ω]	51,2452				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	28,1567				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - zem
t₃ [s]	0,8000				Časové zpoždění zóny 3

* nejdelší vedení vyvedené z rozvodny Bystřice nad Pernštejnem je vedení V507(V508).

Parametr	Nastavení				Druh OZ: 1 k = 1,35
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna OZ operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna OZ aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	11,9409				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ
R₁ [Ω]	24,5881				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - fáze
X₀ [Ω]	32,0016				Netočivá složka reaktance zóna OZ
R₀ [Ω]	44,7504				Netočivá složka odporu zóna OZ
R_{1E} [Ω]	24,5881				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - zem
t_{oz} [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny OZ

Parametr	Nastavení				Popis popud
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	
operation	On	Off	Off	Off	Pod-impedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	150,0000				sousledná složka reaktance dopředný směr
RA1 [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - fáze
R [Ω]	90,0000				R popud fáze - fáze
RA1E [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - zem
RE [Ω]	90,0000				R popud fáze - zem
Ph alfa [°]	45,0000				úhel bezpečné zátěže
t₄ [s]	3,0000				časové zpoždění - dopředné

Distanční ochrana v rozvodně Žďár nad Sázavou na vedení V1310

Parametr	Nastavení				k = 0,9
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 1 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 1 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	11,5667				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R₁ [Ω]	23,5524				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - fáze
X₀ [Ω]	30,5360				Netočivá složka reaktance zóna 1
R₀ [Ω]	46,3983				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	23,5524				Sousledná složka odporu dosah zóna 1, fáze - zem
t₁ [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny 1

Parametr	Nastavení				k = 1,05
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 2 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 2 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	13,4944				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R₁ [Ω]	24,1445				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - fáze
X₀ [Ω]	35,6253				Netočivá složka reaktance zóna 2
R₀ [Ω]	47,5646				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	24,1445				Sousledná složka odporu dosah zóna 2, fáze - zem
t₂ [s]	0,4000				Časové zpoždění zóny 2

Parametr	Nastavení				k = 1,2
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna 3 operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna 3 aktivace / deaktivace zóny
X₁ [Ω]	15,4222				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R₁ [Ω]	24,7366				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - fáze
X₀ [Ω]	40,7146				Netočivá složka reaktance zóna 3
R₀ [Ω]	48,7310				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	24,7366				Sousledná složka odporu dosah zóna 3, fáze - zem
t₃ [s]	1,0000				Časové zpoždění zóny 3

Parametr	Nastavení				Druh OZ: 1 $k = 1,05$
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	Popis
zóna OZ operation	On	Off	Off	Off	Distanční ochranná zóna OZ aktivace / deaktivace zóny
X_1 [Ω]	13,4944				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ
R_1 [Ω]	24,1445				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - fáze
X_0 [Ω]	35,6253				Netočivá složka reaktance zóna OZ
R_0 [Ω]	47,5646				Netočivá složka odporu zóna OZ
R_{1E} [Ω]	24,1445				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ, fáze - zem
t_{oz} [s]	0,0000				Časové zpoždění zóny OZ

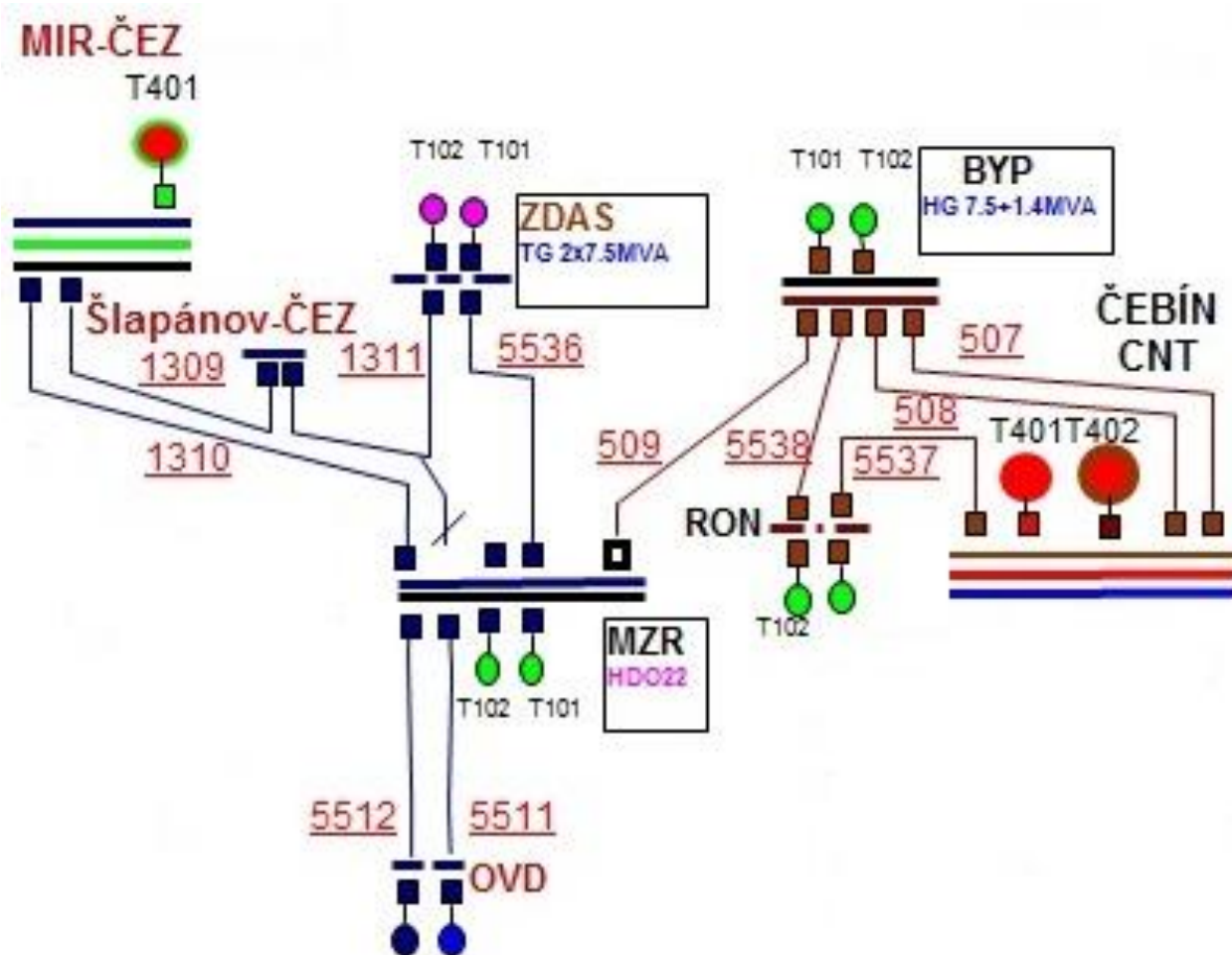
Parametr	Nastavení				Popis popud
	skupina 1	skupina 2	skupina 3	skupina 4	
operation	On	Off	Off	Off	Pod-impedanční nebo nadproudový režim
$X + A$ [Ω]	150,0000				sousledná složka reaktance dopředný směr
$RA1$ [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - fáze
R [Ω]	90,0000				R popud fáze - fáze
$RA1E$ [Ω]	60,0000				R zátěže fáze - zem
RE [Ω]	90,0000				R popud fáze - zem
Ph alfa [$^\circ$]	45,0000				úhel bezpečné zátěže
t_4 [s]	3,0000				časové zpoždění - dopředné

PŘÍLOHA B PARAMETRY SÍTĚ

Parametry vedení							
Vedení	ze	do	Z [Ω]	R [Ω]	X [Ω]	R ₀ / R ₁ [-]	X ₀ / X ₁ [-]
V509	Žďár nad Sáz.	Bystřice n. Per.	9,48	3,40	8,85	1,82	2,68
V1309	Mírovka	Šlapánov	2,39	0,70	2,28	1,97	2,64
V1310	Mírovka	Žďár nad Sáz.	13,44	3,95	12,85	1,97	2,64
V1311	Šlapánov	Žďas	0,73	0,22	0,70	1,97	2,64
V5511	Žďár nad Sáz..	OVD	2,71	0,98	2,52	2,38	3,41
V5512	Žďár nad Sáz.	OVD	2,71	0,98	2,52	2,38	3,41
V5536	Žďas	Žďár nad Sáz.	1,03	0,37	0,96	1,91	3,19
R činný odpor jedné fáze vedení. X reaktance jedné fáze vedení. Z impedance jedné fáze vedení. R ₀ / R ₁ poměr nulové a sousledné složky rezistance. X ₀ / X ₁ poměr nulové a sousledné složky reaktance.							

Zkratový výkon rozvodny Mírovka	Jednofázový zkrat	S _{k1f} [MVA]	5671
	Trojfázový zkrat	S _{k3f} [MVA]	6565

PŘÍLOHA C PODROBNÁ ČÁST SÍTĚ SPOLEČNOSTI EO.N



Tr 110/22kV

- 40 MVA
- 25 MVA
- 16 MVA
- 13,3 MVA
- 12,5 MVA
- 12 MVA
- 10 MVA

Tr 400,220/110kV

- 350MVA
- 250MVA
- 200MVA